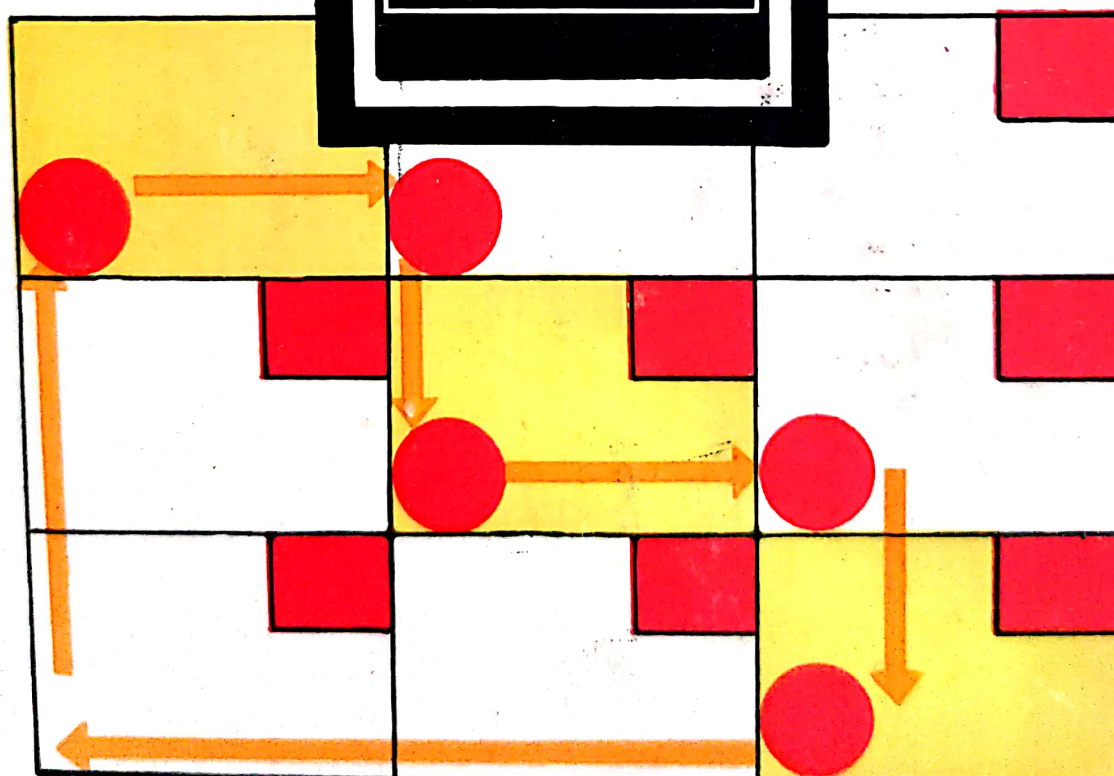


E. S. Buffa

Conducerea modernă a producției

11

SERIA PRACTICĂ



Elwood S. Buffa

Conducerea modernă a producției – vol. II.

Traducere din limba engleză — S.U.A. Ed. IV-a

Lucrarea, apărută pentru prima oară în 1961 și aflată în prezent la a IV-a ediție, are o structură adecvată unei introduceri bine gradate în problemele de organizare a producției, pe care le prezintă la nivelul celor mai noi realizări și folosind metode matematice moderne.

Reține atenția caracterul foarte dinamic al tratării, cu întrebări recapitulative, probleme și o bibliografie bogată la fiecare din capitolele lucrării.

Constituind o sinteză a metodelor științifice și mai ales a criteriilor practice în domeniul conducerii producției, lucrarea este un instrument informațional valoros în orientarea profesională și a activității practice a cadrelor de conducere la diferite nivele ale proceselor de producție. Pe parcursul expunerii, cititorul se întâlnește cu aspecte specifice ale structurii economiei capitaliste, pe care trebuie să le filtreze cu discernământ, pentru ca apoi să poată fi eventual transpuse, cu limitările impuse de condițiile social-economice deosebite, în cadrul sistemelor de producție socialiste.

„SERIA PRACTICĂ”
(Automatică,
Informatică,
Electronică,
Conducerea producției)

Ciclul
**„MĂSURAREA
PARAMETRILOR”**

- E. Samal — Tehnica reglării. Manual practic
I. Papadache — Automatica aplicată, ediția I, II
S. Bajureanu, A. Bălăcescu, M. Epure, I. Burlacu —
Elemente și sisteme automate pneumatice
I. Flores — Practica programării calculatoarelor
F. G. Shinsky — Practica sistemelor de reglare auto-
mată
E. J. McCharly ș.a. — Sisteme integrate de prelucrare
a datelor în conducerea activității economice
M. Dumitrescu, P. Isac, P. Turcu, M. Ene (coordo-
natori) — Organizarea conducerii, producției și
muncii
C. Sîmbotin și Cl. Tanasciuc — Comutația statică în
automatică
M. K. Starr — Conducerea producției. Sisteme și
sinteze
V. Crăciunoiu ș.a. — Elemente de execuție
A. Vlădescu ș.a. — Radioreceptoare
M. Mayer — Tiristoarele în practică. Mutatoare cu
comutație forțată
G. Möltgen — Tiristoarele în practică. Mutatoare cu
comutație de la rețea
L. Zamfirescu și I. Oprescu — Automatizarea cuptoa-
relor industriale
Șt. Alexandru — Automatizarea proceselor tehnolo-
gice în industria lemnului
G. Raymond — Tehnica televiziunii în culori
T. Homoș — Capacitatea de producție în construcția
de mașini
J. J. Samuelli ș.a. — Instrumentația electronică în
fizica nucleară
D. M. Shapiro ș.a. — Proiectarea radioreceptoarelor.
Îndreptar
V. A. Lisickin — Prognoza tehnico-științifică de ra-
mură
M. Popovici, V. Antonescu — Ghid pentru controlul
statistic al calității produselor industriale
G. Sonea, M. Sileșchi — Creșterea planificată a pro-
ductivității muncii
A. M. Buhtiarov ș.a. — Culegere de probleme de
programare
C. Hidoș, P. Isac (coordonatori) — Studiul muncii
vol. I—VIII.
R. L. Morris — Proiectarea cu circuite integrate TTL
G. Sonea, M. Sileșchi — Creșterea planificată a pro-
ductivității muncii
I. Stăncioiu — Eficiența economică a asimilării de uti-
laje noi
E. Florescu — Principii de conducere în construcții
Ch. Jones — Design. Metode și aplicații
P. Vezeanu, Șt. Pătrașcu — Măsurarea temperaturii în
tehnică
T. Penescu, V. Petrescu — Măsurarea presiunii în
tehnică
P. Popescu, P. Mihordea — Măsurarea debitului în
tehnică
P. Vezeanu — Măsurarea nivelului în tehnică
A. Nadabo — Măsurarea volumului și cantității
lichidelor în industrie

Elwood S. Buffa

Conducerea modernă a producției

Vol. II

Traducere din limba engleză S.U.A.



Editura tehnică
București

Elwood S. Buffa

University of California, Los Angeles

Modern production management

Copyright © 1969, John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the publisher.

Recenzie : prof. ing. **I. D. Stăncescu**

Traducere : ing. **I. Stăncioiu**, ing. **E. Procopovici**,
ing. **V. Muşatescu**, ec. **M. Bittel**

Redactor : ing. **Smaranda Dimitriu**

Tehnoredactor : **Elena Geru**

Coperta : **Simona Niculescu**

Bun de tipar : 15.03.1975 ; Coli de tipar : 17,50 ;

Tiraj : 4 000+70 exemplare legate ;

C.Z. 338.065 ; 681.142.

Intreprinderea Poligrafică „Banat“, Timişoara,
Calea Aradului nr. 1. Republica Socialistă
România.

Comanda nr. 325/1975.



Cuprinsul volumului II

Partea a IV-a.	Operații de planificare și control	
Cap. 15.	Sisteme de producție și stocuri	7
Cap. 16.	Previziunea și stocurile	31
Cap. 17.	Planuri și programe agregate	60
Cap. 18.	Programarea și controlul operațiilor	93
Cap. 19.	Întreținerea	117
Cap. 20.	Controlul calității	134
Cap. 21.	Salariile și costurile muncii	162
Cap. 22.	Controlul și îmbunătățirea costurilor de producție	181
Cap. 23.	Mutații în conducerea producției	192
Partea a V-a.	Anexe	
A.	Metodele distributive ale programării liniare	196
B.	Metoda simplex a programării liniare	215
C.	Fire de așteptare	241
D.	Tabel de numere aleatoare	259
	Index de nume proprii	262
	Dicționar român englez de subiecte	266

Cuprinsul volumului I

Partea I	Introducere	
Cap. 1.	Conducerea producției, trecut și prezent	11
Cap. 2.	Conducerea și luarea deciziilor	23
Cap. 3.	Funcția de producție	31
Partea a II-a	Metode analitice	
Cap. 4.	Metode analitice în conducerea producție și operațiilor	46
Cap. 5.	Date de cost pentru decizii	85
Cap. 6.	Costuri de investiții și criterii de investiții	93
Partea a III-a	Proiectarea sistemelor de producție	
Cap. 7.	Proiectarea tehnologică a produselor și planificarea producției	119
Cap. 8.	Metoda grafurilor	169
Cap. 9.	Sisteme informaționale pentru conducere	193
Cap. 10.	Amplasarea uzinei	229
Cap. 11.	Planul construcțiilor din uzină	244
Cap. 12.	Proiectarea activității și metodelor de lucru	291
Cap. 13.	Proiectarea activității, Satisfacția de activitate	332
Cap. 14.	Normarea și măsurarea muncii	349

Sisteme de producție și stocuri

În capitolele părții a 3-a ne-am ocupat cu proiectarea sistemelor de producție. Se poate presupune că la proiectarea unui asemenea sistem s-a întocmit o descriere precisă a produsului care se va fabrica — indiferent de natura sa — a caracteristicilor și succesiunii proceselor tehnologice, precum și planurile instalațiilor și construcțiilor care reunesc procesele într-un sistem fizic unitar. Ca parte a sistemului trebuie proiectate funcțiile care răspund cerințelor proceselor de prelucrare și fluxului de lucru și trebuie luată în considerare problema amplasării sistemului.

În cele ce urmează ne vom ocupa de proiectarea sistemelor informaționale, a politicilor și procedurilor de conducere necesare funcționării sistemului. Astfel, această parte a lucrării se ocupă de probleme cum sînt: Ce politici și proceduri ne vor călăuzi în stabilirea indicilor de bază ai producției? Trebuie să angajăm noi salariați sau să micșorăm personalul și în ce măsură? Cînd este justificată efectuarea de ore suplimentare în locul creșterii personalului? Cînd ar fi indicat să ne luăm riscul acumulării de stocuri sezoniere pentru a stabili forța de muncă? Cît de mari trebuie să fie stocurile pentru a satisface procesul producție-desfacere? Ce proceduri și politici sînt indicate pentru controlul stocurilor și reprovizionarea cu materiale? Ce proceduri și politici sînt necesare pentru programarea mașinilor și forței de muncă pe operații efective? Trebuie maximizată utilizarea forței de muncă și a mașinilor sau este necesar un anumit quantum de timp neutilizat? Cum menținem siguranța în funcționare a sistemului în așa fel încît să fie respectate cerințele cantitative și calitative ale producției? Cînd se justifică o politică de întreținere preventivă? Ce politici și proceduri pot fi eficiente în controlul muncii și al altor costuri? Este posibil a controla costurile sau de fapt trebuie controlate activitățile?

Acestea, precum și alte probleme importante constituie obiectivul central al părții a 4-a. În unele cazuri există modele riguroase care ajută la elaborarea deciziilor și a politicilor cum ar fi în domeniul planificării și

programării agregate, al stocurilor, al întreținerii și al controlului calității. În alte situații, deși politicile și procedurile sînt formalizate, pînă în prezent nu s-au putut aplica metodele analitice moderne, ca de exemplu programele pentru controlul muncii și al costurilor.

Înainte de a trece la subiect, să recunoaștem din nou că în funcționarea și conducerea majorității sistemelor de producție apar probleme deosebit de importante, legate de valorile umane, de supravegherea și selectarea personalului și de comportamentul în cadrul organizației, care nu sînt tratate în această lucrare. Recunoscînd importanța acestor probleme legate de comportament, am adoptat în această carte o definiție mai limitată a problemelor de funcționare. Cei interesați vor trebui să cerceteze alte cursuri și lucrări care tratează orientarea comportamentală.

O abordare sistemică

Să începem analiza problemelor de funcționare întorcîndu-ne la diagrama cu schema de bază a unui model generalizat al sistemelor operaționale, reprezentată în fig. 15.1. Figura 15.1 este identică cu fig. 3.3. și considerăm necesară în acest moment o revedere generală a celor discutate la capitolul 3. Fig. 15.1 prezintă relațiile generale între funcțiunile principale și șase fluxuri esențiale: de informații, comenzi, materiale sau energie, bani, oameni și echipament de bază. Motivul principal pentru care ne concentrăm din nou atenția asupra fig. 15.1 este dorința de a începe discuția asupra problemelor de funcționare în contextul noțiunii de „sistem”. Pe măsură ce vom discuta separat aspectele principale cuprinse în capitolele 16—22, este important să sesizăm o serie de legături între aceste aspecte.

Interdependența funcțiunilor

Deși în centrul atenției noastre se află faza operațională a organizației, totuși trebuie să menținem o concepție sistematică privitoare la interdependența funcțiunilor operaționale cu alte funcțiuni ca marketing, finanțe, personal, aprovizionare și funcțiunea profesională sau de serviciu. În fig. 15.1 se observă fondurile de muncă, materiale și energie, echipamente, servicii externe și resurse financiare. Aceste fonduri există în mediul exterior întreprinderii și se creează, evident, o interacțiune între întreprinderea noastră și cele concurente, datorită utilizării aceluiași surse de aprovizionare.

Cînd încercăm să structurăm problemele conducerii operaționale, realitatea cere să luăm în considerare nu numai legăturile complexe dintre factorii interni ai fazei operaționale, dar cînd este cazul și interacțiunea dintre faza operațională și alte funcțiuni, ca și legăturile acestora cu sistemele exterioare. Astfel, planificarea indicilor de producție, mărimea forței de muncă, folosirea orelor suplimentare și planificarea stocurilor (denumite de obicei planificare și programare agregate) implică un model care

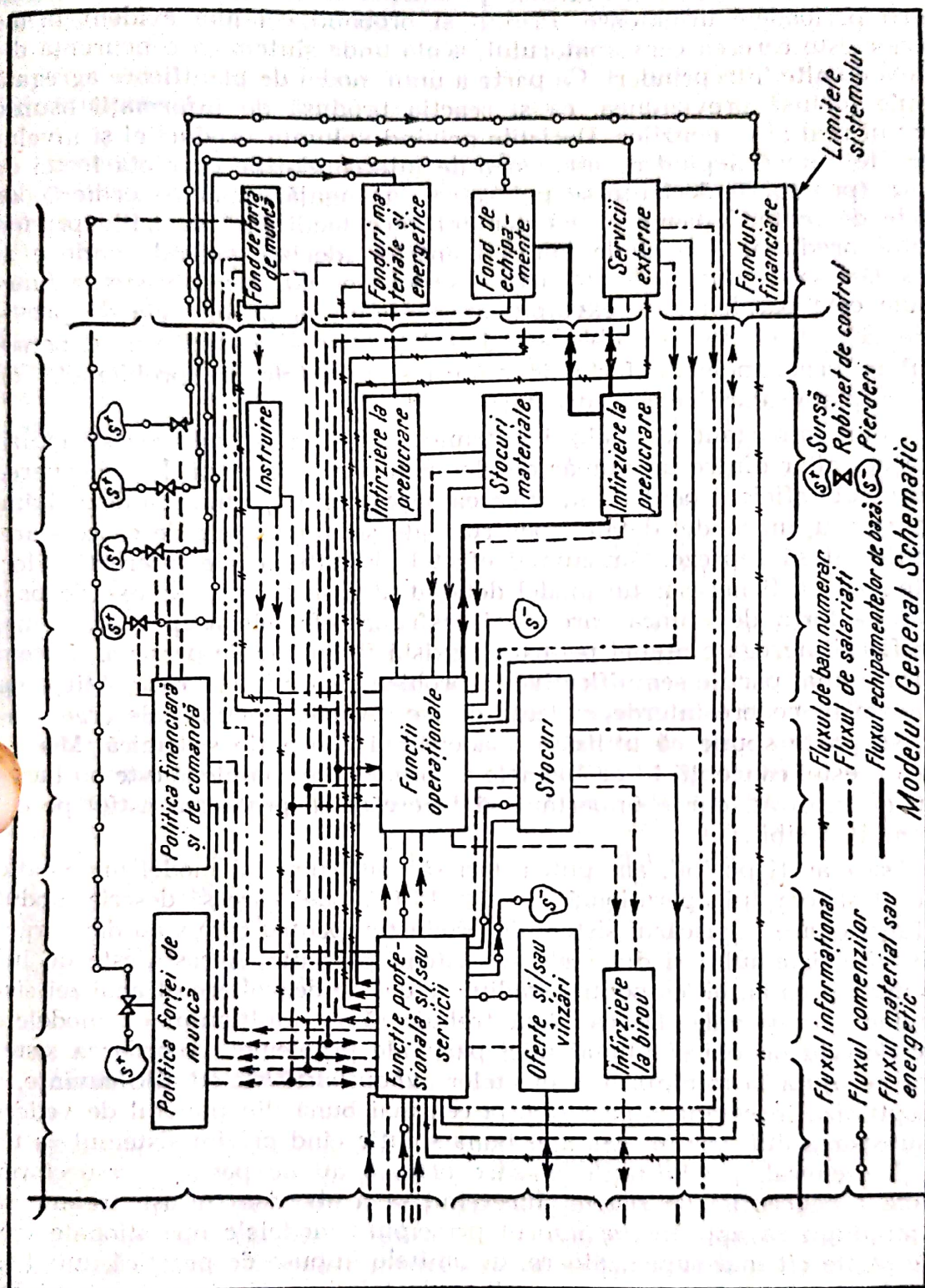


Fig. 15.1. Model general pentru sistemul operațional — diagramă schematică fundamentală.

ia în considerare o parte din aceste interacțiuni dintre „subsisteme intermediare” la determinarea indicilor producției și nivelul forței de muncă pentru perioadele următoare. Primul și probabil cel mai evident factor exterior este cererea consumatorului, acolo unde sintem în concurență directă cu alte întreprinderi. Ca parte a unui model de planificare agregată trebuie inclusă previziunea, ca și reacția produsă de informații asupra fluxului real al comenzilor. Deciziile privind volumul producției și nivelul forței de muncă depind de asemenea de intercorelațiile cu piața forței de muncă (pentru că deciziile se pot referi la angajări sau concedieri), de piețele de materii prime și echipament care facilitează deciziile privind nivelul producției, ca și de piața finanțelor (decizia putînd conduce la acumulări sau reduceri de stocuri). Coordonarea cu alte subsisteme funcționale este paralelă ; de exemplu marketingul în problemele de previziune, achiziționările în problemele de echipament și materii prime, personalul în problemele de forță de muncă și finanțele în problemele de stocuri, plata salariilor și contractările.

Rolul important al analizei sistemice apare în dezvoltarea structurii interacțiunilor dintre un număr de elemente ale sistemului. În conceperea unui model eficient pentru planificarea agregată, nu trebuie să dezvoltăm, de exemplu, un model detaliat pentru toate subfuncțiunile de coordonare. E suficient să reprezentăm numai efectele rezultante ale interacțiunilor. Astfel, nu va fi necesar un model detaliat al resurselor complexe de personal — forța de muncă care să-și resfrîngă efectele asupra problemei planificării agregate numai pentru că există fluctuație de personal. Putem utiliza numai părțile semnificative în problema care interesează. Atît timp cît avem în vedere interdependența dintre diverse funcțiuni ale organizației, se poate spune că utilizăm o adevărată concepție sistemică. Menținerea acestei concepții în problemele de organizare complexă este un lucru greu de realizat, dar e important să încercăm să procedăm astfel pe cît mai mult posibil.

Dacă ar fi posibil, am putea dori să construim un model matematic unic al sistemului operațional din fig. 15.1, model care să descrie modul de funcționare al oricărui sistem de producție, pentru care s-au dat caracteristicile sistemului și diversele subsisteme aferente. Aceasta este un lucru mult prea ambițios pentru stadiul actual de dezvoltare al analizei sistemelor operaționale. Deocamdată trebuie să ne mulțumim cu modelele care descriu de obicei numai mici părți ale problemei. Abordarea sistemică ne ajută la minimizarea efectelor *suboptimizării* ; cu alte cuvinte, a suboptimiza înseamnă a găsi soluția cea mai bună din punctul de vedere al subsistemului, dar nu cea mai bună soluție cînd privim sistemul ca un tot. În general, posibilitățile noastre actuale nu ne permit respectarea strictă a concepției de sistem. Încercînd să o abordăm totuși, trebuie să ne străduim să aplicăm următorul principiu : modelele operaționale trebuie să fie cît mai cuprinzătoare, în limitele impuse de practică, luînd în considerare (în măsura în care mijloacele tehnice existente o permit) legăturile între diferitele subsisteme. Rezultatul este că de cîte ori un ase-

menea model a fost validat ca satisfăcător și indică realizarea unor beneficii mai mari decât cheltuielile suplimentare necesare, putem presupune că s-a realizat o abordare sistemică.

Suboptimizarea

Datorită importanței sale, să tratăm ceva mai aprofundat problema suboptimizării. Ea poate apărea și apare în mai multe feluri. Am putea suboptimiza cu ușurință, considerând maximizarea profiturilor pe termen scurt sau o analiză organizațională limitată. O abordare pe termen scurt l-ar putea face pe un director de producție să producă în funcție de creșterea și scăderea curbei vânzărilor. Într-un orizont mai larg, el s-ar ghida după tendințe și variații sezoniere și ar concepe un program de producție care să răspundă cerințelor pe o perioadă de timp mai lungă. Această din urmă abordare ar putea stabiliza nivelul producției, ducând la cheltuieli mari de stocare, dar la reduceri substanțiale ale cheltuielilor de angajare și concediere. Abordarea pe termen scurt ar fi o suboptimizare, din moment ce se referă numai la cheltuielile de manoperă, dar ignoră efectele pe termen lung și costurile legate de fluctuația producției și stocurilor.

Suboptimizarea organizațională e întâlnită curent acolo unde funcțiunea de producție și cea de desfacere se desfășoară ca două activități net distincte. În acest caz, producția va încerca să-și minimizeze costurile în mod independent, lucru pe care-l va încerca și funcțiunea de vânzări și desfacere. Astfel, vânzările și desfacerea vor fi confruntate în principal cu probleme de conducere a stocurilor, de expediere și servicii pentru clienți și vor încerca să minimizeze costurile corespunzătoare. Pe de altă parte, producția va trebui să minimizeze costurile de producție. Fiecare compartiment organizațional optimizând separat, va rezulta probabil un cost combinat ceva mai mare decât dacă s-ar fi încercat optimizarea întregului sistem luat ca un tot. Cauzele sînt evidente. Prin minimizarea costurilor de stocuri, funcțiunea de vânzare va transfera direct asupra fabricației cele mai multe din efectele fluctuației în vânzări, în loc să absoarbă aceste fluctuații prin stocuri-tampon; rezultatul este o suboptimizare. Totuși, prin coordonarea planurilor și eforturilor, se poate realiza un oarecare echilibru între costul stocurilor și costul fluctuațiilor producției.

Sistemul de control

Elementele conducerii unui sistem de producție sînt prezentate în fig. 15.2. Deși se pot lua în considerare multe aspecte diferite ale funcționării, procesul general de control este același, indiferent de factorul particular care este condus. Figura 15.2, reprezintă generalizarea unor noțiuni ca : sistem de măsură, prelucrarea datelor, controlul zilnic, previziunea și planificarea etc. Să comentăm structura generalizată din fig. 15.2 pe baza unui exemplu de control al stocurilor.

Obiectivul este în cazul acestui exemplu controlul nivelului stocurilor de produse finite. Pentru a realiza aceasta trebuie stabilite norme pentru nivelele stocului și proceduri pentru menținerea lor. Acesta este reprezentat în fig. 15.2 prin blocul „controlul zilnic al operațiilor”. Aceste norme

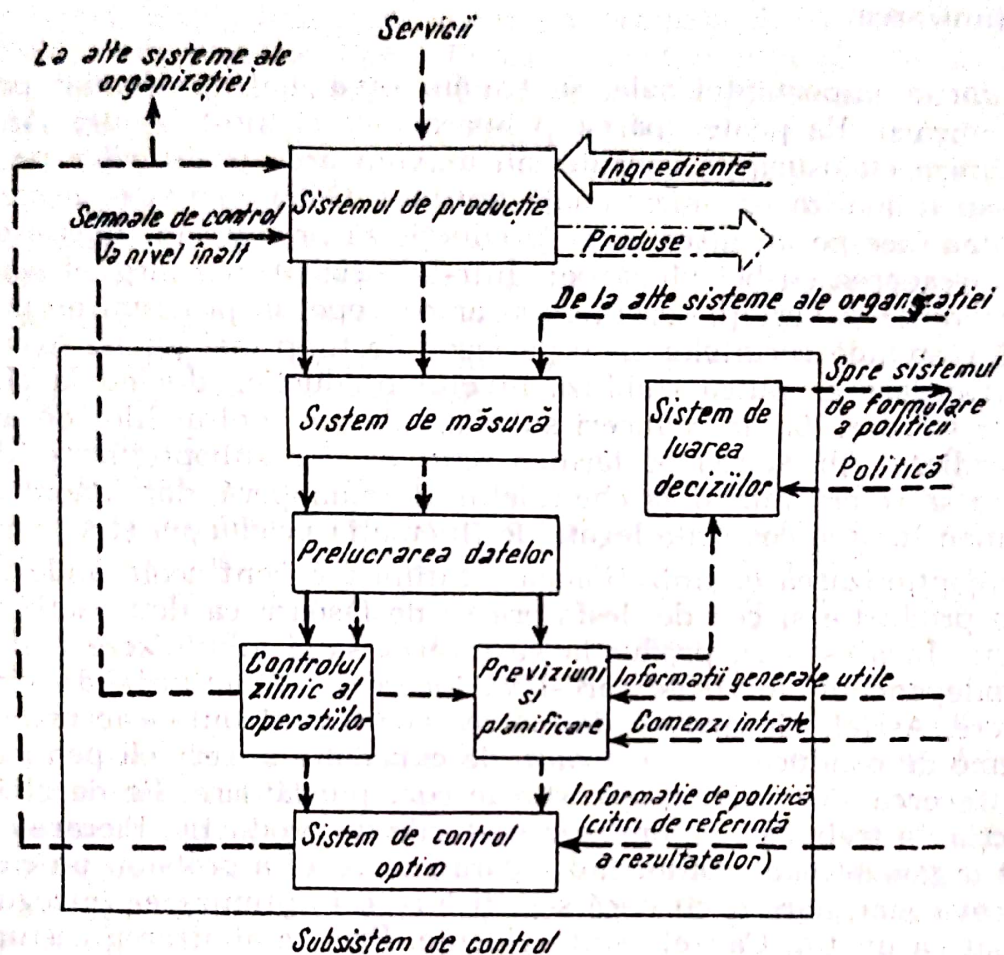


Fig. 15.2. Structura generală a sistemelor de control în raport cu un sistem de producție (după [2]).

pentru controlul stocurilor implică existența unui anume model pentru corelarea procedurilor corespunzătoare de recomandare și înlocuire, cu costurile semnificative, și politicile privind nivelul de servicii dorit, adică nivel acceptat al riscului de ruptură de stoc. Modelele de conducerea stocurilor sînt discutate în cap. 16. Controlul zilnic se bazează pe măsurări privind nivelul real al stocurilor transmise și prelucrate în mod corespunzător și comparate cu normele din model. Astfel se poate semnala necesitatea reprovizionării cu o cantitate normată, dacă stocurile au scăzut sub limita punctului de comandă prestabilit sau modelul poate solicita calculul cantității de comandă pentru fiecare perioadă, bazîndu-se pe cererea înregistrată și pe alți factori. Dispunem astfel de o buclă fundamentală de reglare zilnică cu legătură inversă, care acționează în direcția reajustării stocurilor.

Totuși, în cazul unei perioade de timp mai lungi, „previziunea și planificarea” iau în considerare schimbarea nivelului cererii, pentru a determina dacă normele de comandă nu ar trebui schimbate. Pe baza noilor informații privind cererea, regulile de comandă pot fi schimbate, la fel ca și mărimea stocului de rezervă sau de siguranță. Astfel modelul de control zilnic și noile informații de previziune și planificare constituie intrări ale „Sistemului de control optim”. Acest sistem va răspunde apoi automat atât la cerințele zilnice, cât și la variațiile cererii într-un timp mai lung. Alte informații derivând din politica admisă pot fi utile la ajustarea sistemului de control optim. De exemplu, o politică de stabilizare a volumului producției va conduce la acumulări relativ mari de stocuri în perioadele cu cerere redusă și la reducerea stocurilor aproape de nivelul minim în perioadele cu cerere maximă. Controlul altor aspecte ale sistemului urmează aceleași reguli. În general, controalele care ne interesează mai mult sînt cele legate de cantitățile produse sau controlul cantitativ, controlul calității și controlul costurilor.

Controlul cantitativ

Controlul asupra cantităților produse nu se exercită prin simpla stabilire a nivelului producției. Există o interacțiune complexă între cererea efectivă și modelul său previzional, nivelul de producție și mărimea forței de muncă. Cantitatea de produse în perioadele de plan următoare depinde de utilizarea combinației cele mai economice a capacităților echivalente (cum sînt stocurile existente, producția normală, producția suplimentară și producția datorită creșterii numerice a forței de muncă) legată de o perspectivă rezonabilă de estimare a cererii. Nivelul producției depinde de combinația de capacități echivalente, care minimizează aceste costuri compuse.

În mod similar, dacă în perspectiva considerată se prevăd vîrfuri sezoniere ale cererii, atunci costurile comparative ale folosirii forței de muncă suplimentare trebuie să compenseze costurile comenzilor neonorate și ale vânzărilor pierdute. Nivelul producției și al forței de muncă depind de combinația de capacități care minimizează aceste costuri. Deciziile privind nivelul de bază al producției și nivelul forței de muncă sînt de o mare importanță. Desigur, existența stocurilor în sistem influențează deciziile privind nivelul producției și cel al forței de muncă, modelele și politicile de stoc constituie subiecte ale cap. 16.

Implementarea eficientă a planurilor agregate de bază ale producției depinde în mare măsură de felul în care sînt efectiv folosiți oamenii și mașinile, adică de modul în care sînt repartizate și utilizate aceste resurse. În sistemele cu producție continuă, schimbările pe care planul agregat le impune în nivelul de bază al producției și al angajărilor, cer o reechilibrare a mijloacelor și liniilor de montaj pentru ajustarea la noul nivel al forței de muncă și la noii indici de producție. În sistemele cu producție discontinuă problema programării detaliate este cu mult mai complexă, întrucît materialele sînt prelucrate în loturi. În sistemele discontinue, se

folosește de obicei echipament de uz general, astfel că timpul disponibil al acestor utilaje este disputat și împărțit de mai multe comenzi diferite. Astfel, pentru fiecare lot sau comandă, mașinile trebuie special pregătite și trebuie desemnați muncitorii care să lucreze la ele. În afară de problema programării ce trebuie rezolvată, trebuie stabilit un sistem informațional cu legătură inversă pentru colectarea informațiilor curente asupra stării comenzilor, astfel încât să se poată realiza controlul funcționării. Aceste probleme de programare și control sînt tratate în cap. 18.

În sfîrșit, cînd vorbim despre controlul cantitativ, sînt de asemenea importante proiectarea procedurilor de întreținere și de control al calității. Aceste proceduri influențează asupra controlului nivelului producției, deoarece ambele sînt legate de menținerea siguranței sistemului fizic. Dacă echipamentul nu este menținut în bună stare de funcționare, aceasta va influența asupra atingerii nivelelor planificate de producție. Dacă mașinile se defectează, apar cheltuieli de timp neutilizat, uneori pentru o întreagă linie de producție. De aceea, programele de întreținere preventivă sînt deseori rentabile. Procedurile de control de calitate au și ele efecte asupra îndeplinirii producției planificate. Cînd se stabilește nivelul producției, se iau în considerare bineînțeles numai produsele îndeplinind normele de calitate, nu rebuturile. Problemele specifice de întreținere și de control al calității sînt tratate în cap. 19 și respectiv 20.

Controlul calității

Controlul calității se fundamentează în primul rînd în proiectarea proceselor și selectarea echipamentului. Caracteristicile calitative de bază trebuie să fie proiectate ca parte a sistemului. Dar, avînd date aceste caracteristici de bază, nivelele dorite ale calității sînt controlate prin selecția și instruirea personalului, întreținerea fizică a utilajelor și echipamentelor, controlul caracteristicilor calitative ale materiilor prime achiziționate și controlul caracteristicilor calitative ale produselor rezultate din prelucrările individuale și din sistemul de producție luat ca întreg. Așa cum s-a arătat la controlul cantitativ, defectarea mașinilor poate avea efecte importante asupra programării și a costurilor timpului neutilizat. Dar una din cauzele defectărilor poate fi abaterea de la însăși normele de calitate stabilite, astfel că întreținerea siguranței sistemului se referă atît la cantitatea, cît și la calitatea rezultatelor producției.

Tehnicile de control ale calității se referă în special la metode de verificare și la metode de control statistic. Metodele de control statistic prezintă un interes aparte, ele avînd în general o largă aplicabilitate la controalele probabilistice. Metodele statistice se pot grupa în două grupe principale, recepția prin eșantioane și controlul proceselor. Recepția prin eșantioane poate determina pe baza unui eșantion probabilitatea ca întregul grup sau lot de materiale să îndeplinească normele de calitate. Controlul proceselor implică luarea de mostre în mod continuu sau periodic din produsele executate pentru a verifica dacă normele de calitate se încadrează în limitele prevăzute. Limitele de control stabilite au caracter

probabilistic. Astfel, cînd un eșantion cade în afara limitelor de control, există o mare probabilitate că trebuie luate măsuri. Invers, atîta timp cît eșantioanele rămîn în cadrul limitelor de control, există o probabilitate scăzută că vor apare cantități semnificative de produse calitativ slabe. Controlul proceselor este de fapt o conducere prin excepții. În cap. 20 sînt discutate controlul calității în general, ca și recepția prin eșantionare și controlul proceselor în particular.

Controlul costurilor

Așa cum am menționat anterior, accețiunea curentă dată termenului „controlul costurilor” este într-un sens nejustificată. Costurile sînt un rezultat și o funcție a activităților implicate. Dacă activitățile sînt controlate în mod corect, atunci costurile rezultate sînt și ele controlate, pur și simplu pentru că cele mai multe dintre modelele de sisteme de conducere discutate în această carte au funcții obiectiv legate de costuri. Cînd stabilim controlul activităților pe baza acestor funcții obiectiv, controlăm implicit și costurile. Cu toate acestea, termenul „controlul costurilor” are și o accețiune mai restrînsă care se referă la stabilirea periodică a valorilor costurilor importante și organizarea lor în vederea obținerii de date pe baza cărora se pot lua multe decizii importante pentru controlul activităților și deci și al costurilor. Costul muncii este una din componentele principale, căreia i se acordă o atenție specială în cap. 21. Aspectele mai generale ale controlului costurilor sînt apoi discutate în cap. 22.

Clasificarea sistemelor de producție cu stocuri

Este momentul ca în loc să continuăm a discuta la modul general să stabilim o clasificare generală a sistemelor de producție și stocuri. Dorința de a fi mai preciși în legătură cu tipurile specifice de sisteme de producție cu stocuri este justificată de faptul că natura celor mai importante probleme operaționale diferă sensibil în funcție de sistem. Vom stabili două baze de clasificare; (a) în funcție de continuitatea proceselor, distingem sisteme continue în opoziție cu cele discontinue și (b) în funcție de existența stocurilor, separînd sisteme cu produse pe stoc în opoziție cu cele fără stoc.

Sisteme continue și discontinue

Baza de clasificare continuu-discontinuu a fost utilizată la discutarea modelelor de sisteme de producție în cap. 3. Acolo sistemele continue erau caracterizate prin linii de producție, procese chimice continue și, în general, prin sistemele de producție ale întreprinderilor care fabrică produse standardizate în cantități mari. Esența „continuității” rămîne însă faptul

că fluxul fizic de material în producție este fie continuu sau tinde către o mișcare continuă. Pe de altă parte, sistemele de producție discontinue sînt acelea în care mijloacele fizice trebuie să fie suficient de flexibile pentru prelucrarea unei largi varietăți de produse și dimensiuni, sau unde natura activității impune schimbări în proiectarea produsului din timp în timp. În asemenea împrejurări nu este aplicabil un model unic de succesiune a proceselor, așa încît localizarea relativă a operațiilor trebuie să fie un compromis convenabil pentru toate produsele. Accentul se pune pe flexibilitatea proiectării produselor, a prelucrărilor, a fluxurilor prin sistem etc. Sistemul este numit „discontinuu” pentru că fluxul este intermitent. Sistemele discontinue sînt caracteristice pentru atelierele care lucrează pe bază de comenzi, operațiile chimice pe loturi de produse, birouri generale, proiecte unicat de anvergură etc.

Deci, baza clasificării continue-discontinue este dată de natura mijloacelor fizice ce compun sistemul de producție. Dorim acum să lărgim conceptul despre componenta sistemului, incluzînd aprovizionarea cu materii prime la începutul ciclului și desfacerea produselor finite la sfîrșitul fazei de fabricație. Astfel, termenul „sistem de producție și stocuri”, în conceptul lărgit, include stocurile în toate stadiile și ne sugerează cea de a doua bază de clasificare.

Sisteme cu produse pe stoc și fără stoc

Figura 15.3. prezintă o diagramă a unui sistem de producție și stocuri pentru produse stocabile. Se evidențiază caracteristicile fluxului general al sistemului luat ca un întreg. În fig. 15.3. faza de fabricație poate fi, fie continuă, fie discontinuă. Desigur, multe sisteme de fabricație discontinue produc pe stoc. Asemenea fabrici pot fi organizate fizic și programate intern pe ateliere. Situațiile obișnuite unde aceasta e o realitate sînt atelierele mecanice ale marilor companii de automobile. Asemenea ateliere sînt închise pentru comenzile din afara organizației și pot produce un set de produse, în cicluri repetabile. Timpul de utilizare al echipamentului este împărțit între multe produse diferite, iar produsele sînt fabricate pe stoc pentru că proiectarea e standardizată și cerințele pieții sînt previzibile. Asemenea ateliere discontinue sînt numite ateliere închise pentru că ele nu primesc comenzi din afară.

Deci, pot exista sisteme de producție și stocuri (în clasificarea după stoc), care au mijloace de fabricație continui sau ateliere închise. Dacă revenim acum la fig. 15.3. putem întîlni curent o specializare a întreprinderii în desfacerea produselor. Aceste întreprinderi specializate în desfacere sînt numite simplu „de distribuire”. Porțiunea din fig. 15.3. pentru conducerea sistemelor de distribuție își concentrează atenția în principal asupra stocurilor. Faza operațională a unei asemenea întreprinderi se ocupă cu reîmprospătarea stocurilor, controlul nivelului stocurilor și expedierea. Gradul de eficiență poate fi apreciat în funcție de frecvența rupturilor de stoc sau a imposibilității de a satisface cererea de produse din stocuri. Din punct de vedere al conducerii operaționale, sistemele de „dis-

tribuire“ sînt practic sisteme de stocuri și prezintă interes pentru că sînt destul de rîspîndite. Cap. 16 este dedicat stocurilor și modelelor de stocuri. Deci sistemele de producție și stocuri pentru producția pe stoc includ sisteme cu producție continuă, sisteme cu producție discontinuă și

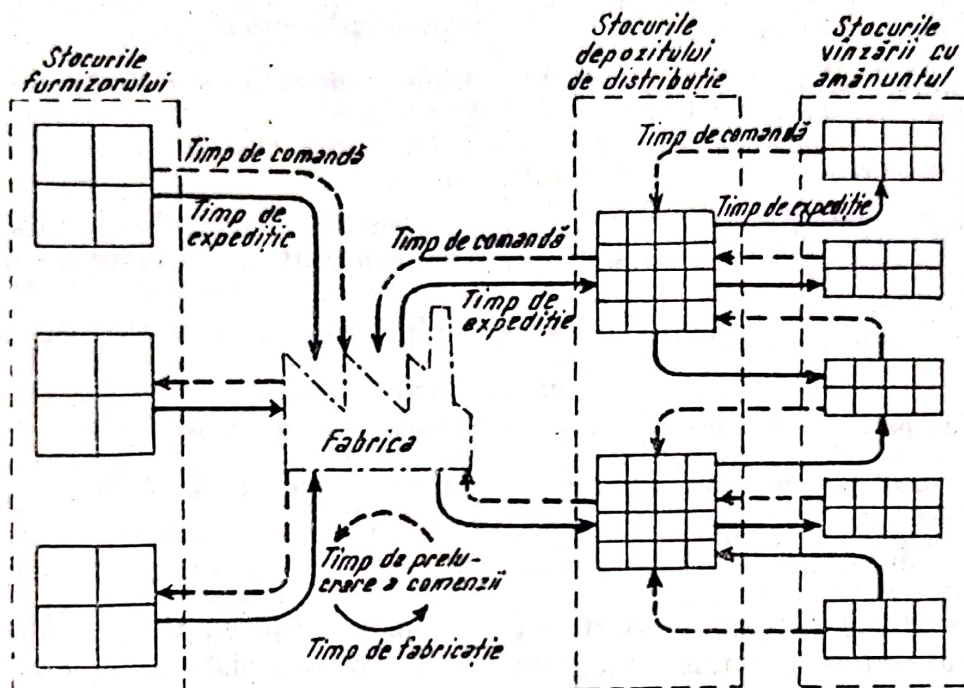


Fig. 15.3. Sistemul aprovizionare-producție-distribuție pentru un produs stocabil. Decalajele de timp între și în interiorul fazelor sînt caracteristice iar stocurile au o funcție vitală în fiecare fază.

sisteme care implică numai desfacere. Gruparea sistemelor în funcție de producția pe stoc este importantă deoarece se ține seama de aceasta la planificarea și programarea agregată (cap. 17).

Produsele și serviciile la cerere necesită sisteme de producție și stocuri care nu au stocuri de produse finite. Ele pot fi totuși denumite sisteme de producție și stocuri, pentru că au stocuri de materii prime și producție neterminată care pot fi controlate într-o oarecare măsură. Exemplele cele mai edificatoare sînt atelierele deschise și proiectele mari unicate.

Atelierele deschise produc pe bază de comenzi sau contracte. Aceste comenzi sau contracte nu pot fi repetate așa că cerința de flexibilitate este esențială. Atenția conducerii trebuie concentrată asupra programării și utilizării oamenilor și mașinilor pentru a respecta termenele stabilite și normele de calitate. Diferența între atelierele deschise și proiectele mari unicate, în clasificarea noastră, este în mare măsură o diferență de scară și complexitate. Nu există o linie clară de demarcație între cele două sisteme; putem spune doar că atunci cînd un contract e suficient de mare și complex pentru a justifica tehnicile de programare și control în rețea de tip PERT (discutate la cap. 8) îl putem numi un proiect de anvergură.

Comparație

În rezumat, clasificarea în sisteme continue și discontinue se prezintă astfel :

Sisteme continue

Sisteme de producție și stocuri pentru produse standardizate în volum mare
Sisteme de distribuire (desfacere)

Sisteme discontinue

Ateliere (deschise și închise)
Proiecte mari

Această clasificare este foarte utilă pentru proiectarea instalațiilor și construcțiilor și pentru indicarea naturii programării detaliate a oamenilor și mașinilor.

Clasificarea în sisteme cu produse pe stoc și fără stoc se prezintă astfel :

Sisteme cu produse pe stoc

Sisteme continue pentru produse standardizate în volum mare
Sisteme cu ateliere închise
Sisteme de distribuire

Sisteme cu produse fără stoc

Sisteme cu ateliere deschise
Proiecte mari

Această clasificare e foarte utilă la determinarea tipului adecvat de planificare și programare agregată. Conceptul de sistem de producție și stocuri este de asemenea util pentru că scoate în evidență caracterul de întreg al sistemului, în vederea evitării suboptimizării la care ne-am referit anterior. Abordarea unitară a fluxului de materiale, oferă o viziune mai clară asupra alternativelor de organizare a funcțiunilor întreprinderii și asupra eficienței acestora.

Organizarea în scopul integrării fluxului de materiale

De cele mai multe ori este greu să se cuprindă fluxul general al materialelor și informațiilor care afectează direct sau indirect costul total al sistemului. În cele mai multe cazuri, sistemul se extinde cel puțin asupra furnizorului nemijlocit de materii prime și este pe de-a întregul posibilă extinderea sa dincolo de acest furnizor. Modalitățile de desfacere ale furnizorilor pot afecta sensibil costurile întregului sistem luat în considerare. În mod similar, sistemul total se extinde în celălalt sens, cuprinzând fazele de producție, ca și de desfacere a produselor finite, așa cum se indică în fig. 15.3. O asemenea abordare sistemică poate implica mai multe organizații separate. Trebuie să recunoaștem că o analiză integrată totală a unui asemenea sistem extrem de complex nu este încă cu adevărat practică pentru activitatea de zi cu zi, deși simularea pe calculator a unor sisteme foarte mari, conform celor indicate la pag. 65 vol. I oferă perspective promițătoare.

Tendința pe termen lung în specializarea funcțiilor, comentată în cap. 12 cu referire la proiectarea funcțiilor, a mers paralel cu organizarea generală a întreprinderii. Pe măsură ce organizațiile au crescut, multitudinea de funcțiuni pe care acestea trebuiau să le îndeplinească au condus la împărțirea în diferite divizii, departamente și grupe. Odată cu această fragmentare apare o solicitare evidentă de specialiști în cadrul organizației. Fiecare specialist tinde să-și asume un rol și să devină mai priceput în îndeplinirea atribuțiilor sale. Cu cât organizația este mai mare, cu atât crește gradul de specializare și cu atât este mai puternică tendința de a pierde din vedere obiectivele generale ale organizației și de a se concentra atenția asupra întăririi funcției individuale. Întrucât funcțiunile specialistului au o sferă de acțiune limitată, el caută succesul prin suboptimizare, minimizând, spre exemplu, costurile sale proprii, pe o bază limitată. Pentru că eficiența activității sale e judecată pe o bază limitată, el găsește că e în avantajul său să încerce influențarea acțiunilor și procedurilor, ori de câte ori este posibil, în așa fel încât să meargă lucrurile bine în sfera sa de activitate. Nu este vorba de un defect de psihologie a unui individ care reacționează în felul acesta față de mediu, ci de un defect în structura organizatorică, ce îl obligă la aceasta. O concepție unitară asupra sistemului ar încuraja tocmai efectul opus, adică o echilibrare a avantajului interdepartamental cu dezavantajul căutării unui sistem optim. Deși este poate adevărat că analiza integrată a sistemului nu este încă în măsură să rezolve această problemă, pot fi proiectate structuri organizatorice care să ducă la reducerea efectelor suboptimizării.

În cele ce urmează se face o prezentare succintă a unui studiu de caz privind reorganizarea în vederea obținerii unui control integrat mai eficient.

Înainte studiului care a avut ca obiectiv reorganizarea în vederea obținerii unei conduceri integrate mai eficiente, întreprinderea „Purex Corporation” avea structura organizatorică de bază prezentată în fig. 15.4. Multe din funcțiunile legate de fluxul materialelor erau fragmentate și răspunderea era împărțită între mai multe departamente principale. În vechea organizare un director de transport răspundea de transportarea produselor finite de la principalele uzine producătoare spre magazine și alte puncte de desfacere. Funcția de planificare a producției era realizată de comisii ad-hoc, ai căror membrii făceau parte din compartimentele de vânzări, de fabricație și de activități financiare. Funcția de depozitare ținea de departamentul vânzărilor și era funcția de control a stocurilor. Directorii unor întreprinderi mai mici erau subordonați funcțiunii financiare.

Aceste uzine, în diferite locuri din țară, produceau soluție de albire lichidă și se ocupau de depozitarea de produse finite fabricate de alte unități importante de producție. Expedierea produselor finite de la aceste uzine cădea în răspunderea directorilor de uzină și, ca urmare a acestui fapt, liniile de autoritate pentru aceste funcțiuni plecau de la vicepreședintele cu finanțele. O oarecare autoritate funcțională deținea și directorul de transporturi, acesta având sarcina să furnizeze instrucțiuni privind rutele și taxele de transport. În măsura în care era răspunzător pentru

controlul și menținerea stocurilor la magazinele regionale, serviciul vânzări exercita un oarecare control și asupra expedierilor de la aceste magazine. Funcțiunea de aprovizionare răspundea de controlul procurării tuturor materiilor prime și a altor resurse; totuși, evidența comenzilor

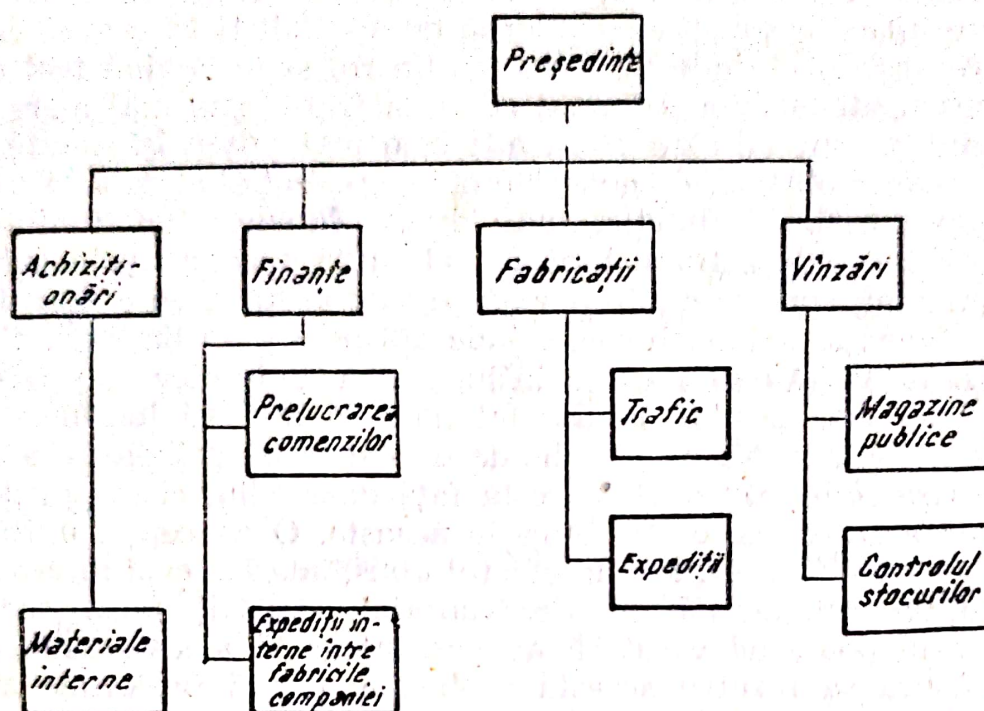


Fig. 15.4. Organizarea corporației Purex înainte de adoptarea unui concept integrat al fluxului material (după [3]).

era o funcțiune financiară. Nu se încercase exercitarea unui control general asupra circuitului de materiale.

În schema din fig. 15.5 este prezentată reorganizarea activităților și funcțiunilor. Un număr de funcțiuni importante, care guvernează fluxul de materiale, sînt plasate sub controlul directorului de transporturi și desfacere. El coordonează direct transporturile, planificarea generală a producției, controlul stocurilor și desfacerea. Directorii de transport regionali îi sînt direct subordonați; pe lângă aceasta, el exercită și un control funcțional asupra funcțiunii de desfacere la diferite uzine ale companiei. Aceste uzine sînt acum subordonate direct directorului de producție, care la rîndul său e subordonat vicepreședintelui cu cercetarea și fabricația. Astfel, această autoritate funcțională capătă caracter direct, deoarece directorul de transporturi poate exercita un vast control asupra tuturor activităților ce afectează mișcarea materialelor la nivelul uzinelor. Autoritatea directă asupra controlului stocurilor îi dă acum puterea de care are nevoie pentru a controla atît intrările, cît și ieșirile din magazinele regionale situate pe cuprinsul țării. Deși aceasta nu apare în fig. 15.5., directorul de transporturi și desfacere lucrează în strînsă colaborare cu directorul aprovizionării în controlul expedițiilor interne de materii prime și materiale.

Noua structură organizatorică a adus multe beneficii companiei, concretizate în reduceri de costuri estimate la mai multe sute de mii de dolari. S-a redus numărul magaziiilor regionale de la 65 la 35. Se exercită acum un control mai eficient al conducerii asupra stocurilor și planifi-

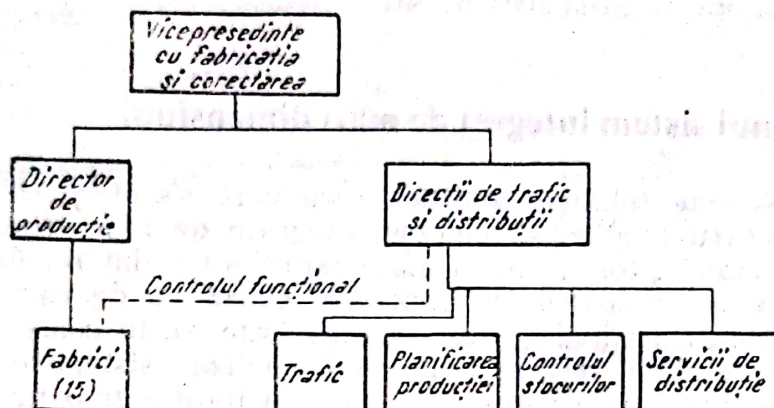


Fig. 15.5. Organizarea corporației Purex pentru controlul fluxurilor materiale după adoptarea conceptului integrat (după [3]).

cării producției, realizându-se o conducere integrată a mai multor funcțiuni legate de fluxul de materiale.

Ar putea prezenta interes compararea fluxului de materiale la diferite tipuri de organizații. Corporația Purex e preocupată în primul rând de mișcările în exterior ale produselor finite. Ea are peste 200 produse finite care trebuie distribuite de la mai multe uzine și magazine către organizațiile comerciale cu ridicata și cu amănuntul din toată țara. Întrările de materiale sînt puține la număr și constau în principal din expedieri în vrac de chimicale, uleiuri etc.

O situație contrară ar fi aceea implicînd asamblarea unui produs complex cu relativ puțini beneficiari, de exemplu, Compania de avioane Boeing [3]. În Compania Boeing, interesul principal este acordat intrărilor și ieșirilor interne a celor peste 100 000 de piese diferite și materii prime necesare pentru producerea fiecărui avion. Aceste piese și materiale sînt primite din aproape toate statele țării, și, în general, în cantități mici la fiecare aprovizionare. Produsul finit este în general ridicat de către client. De obicei, activitățile de desfacere se referă la piesele de schimb care trebuie transmise unui număr limitat de companii aeriene și organizații militare. Compania Boeing este în general orientată spre producție: cu toate acestea vânzările reprezintă o activitate importantă. Compania Purex poate fi considerată o firmă orientată spre vânzări, producția jucînd un rol vital.

Orientările generale ale acestor două companii sînt într-adevăr opuse. Numai costurile de transport la Purex se ridică la mai mult de 8 000 000 dolari anual, sau cca. 10% din valoarea vânzărilor. La Boeing, pe de altă parte, costurile de transport nu reprezintă decît 1% din vânzări. Transportul și desfacerea sînt la Purex de o extremă importanță, în

timp ce la Boeing transportul joacă un rol minor. Cu toate acestea, problemele controlului general al materialelor sînt foarte mari în ambele organizații. La amîndouă, o structură organizatorică presupunînd o abordare integrată a fluxului de materiale de la furnizor pînă la ultimul beneficiar ar contribui la optimizarea sistemului.

Simularea unui sistem integrat de mari dimensiuni

Simularea este tehnica analitică care pare să ofere cele mai mari promisiuni pentru analiza sistemelor integrate de mari dimensiuni privind fluxul materialelor. Analiza matematică nu a dat rezultate datorită mării complexități a sistemelor implicate. Odată cu dezvoltarea calculatoarelor electronice de mare viteză și capacitate, și, în consecință, a posibilităților de simulare, devine realizabilă analiza sistemelor integrate. Lucrările unui număr de cercetători au contribuit într-o măsură importantă la evoluția proceselor de simulare a sistemelor mari ; de un interes aparte în contextul actual al conducerii integrate a fluxului de materiale sînt lucrările lui *Jay Forrester* [6].

Lucrările sale sînt deosebit de interesante pentru că rezultatul simulării este special conceput pentru a indica efecte dinamice ; acestea sînt efectele schimbării cererii pe piață, alți factori de conjunctură și alternative de acțiune privite în timp. Valoarea deosebită a sistemului său constă și în aceea că prezintă efectele decalajelor de timp asupra sistemelor de circulație a informațiilor și materialelor într-un mod similar cu întîrzierile de timp indicate în fig. 15.3.

Ca o ilustrare a metodologiei sale, Forrester prezintă analiza unui sistem de producție cu desfacere schițat în fig. 15.6. Se observă patru nivele de bază în cadrul sistemului : fabrica, magazia fabricii, depozite cu ridicata și vînzările cu amănuntul. În cadrul sistemului general se observă trei nivele de stocuri. Linia continuă indică circulația fizică a mărfurilor între nivelele structurii, ca răspuns la comenzi. Numerele în-cercuite reprezintă decalările de timp în săptămîni pentru fiecare din activitățile care au loc. Liniile cu cerceulețe arată fluxul comenzilor pentru mărfuri, de la clienți către organizația de vînzare, de la aceasta la distribuitor, de la distribuitor către depozitul fabricii și, în fine, de la magazie, sub formă de comenzi către fabrică pentru a produce mărfurile.

Livrarea mărfurilor către client se face în circa o săptămîină după ce clientul a înaintat comanda. La nivelul vînzării cu amănuntul, apar întîrzieri de contabilitate și aprovizionare de circa 3 săptămîni, între momentul vînzării și cel cînd vînzarea se reflectă într-o comandă emisă în afară pentru înprospătarea stocului. Întîrzierea datorată expedierii prin poștă a comenzii este de o jumătate de săptămîină. La nivelul organizației cu ridicata (distribuitor) apare o decalare de o săptămîină pentru prelucrarea comenzii, iar expedierea mărfii către organizația de desfacere cu amănuntul ia încă o săptămîină. Decalările între depozitele cu ridicata și magazia fabricii sînt similare cu precedentele. Apare un interval de timp

de 6 săptămîni între momentul luării unei decizii de schimbare a nivelului producției și momentul în care producția fabricii atinge noul nivel. Modelul conține de asemenea alte reguli de decizie și politici privind comenzile și stocurile la diferite nivele.

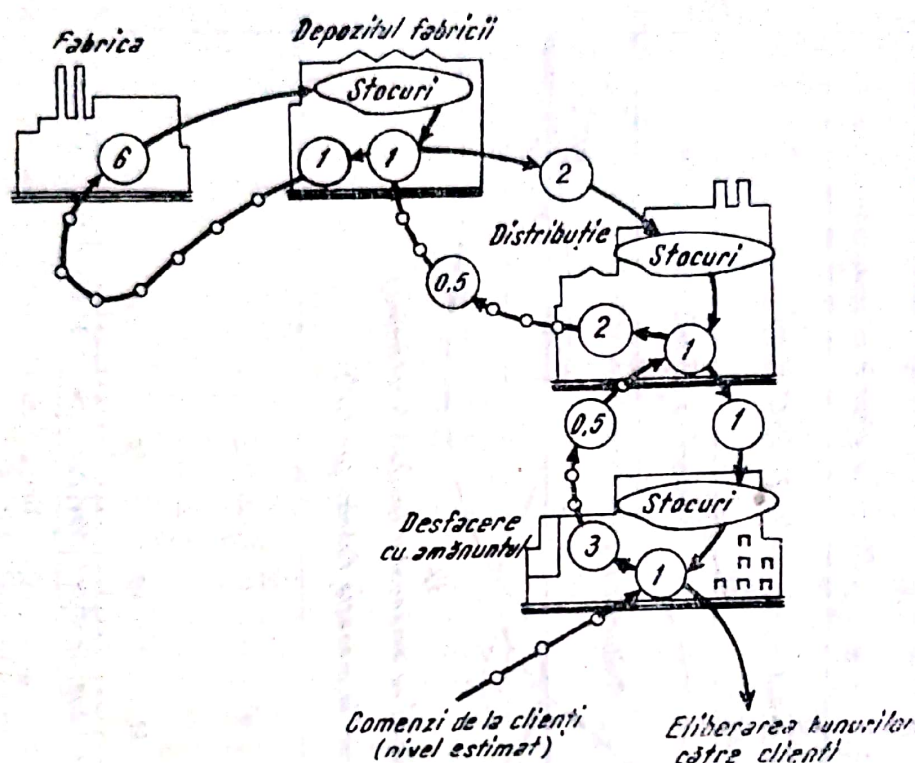


Fig. 15.6. Organizarea unui sistem producție-distribuție (după [6]).

Efectul unei creșteri de 10% în vânzările cu ridicata. Să încercăm acum să vedem natura efectelor unei simple creșteri cu 10% a vânzărilor cu ridicata asupra nivelelor stocului în diverse subunități ale sistemului și asupra producției fabricii. Ne-am putea aștepta la o ajustare lină și ordonată la noul nivel al cererii de desfacere cu ridicata; totuși, fig. 15.7, arată că se produc oscilații puternice în evoluția diversilor indicatori de eficiență. Datorită întârzierilor datorate contabilității, aprovizionării și expediției prin poștă, creșterea comenzilor de la vânzătorii cu amănuntul către depozitele cu ridicata, are nevoie de cca o lună pentru a atinge noul nivel superior cu 10%. Faptul surprinzător este, desigur, că această creștere nu se oprește la 10%, ci atinge un vîrf de 18% în săptămîna a 11-a, datorită adăugării noilor comenzi la nivelul cu amănuntul, (a) pentru a mări cumva stocurile și (b) pentru a ridica nivelul comenzilor și mărfurilor în tranzit prin linia aprovizionării cu 10%, corespunzător creșterii coeficientului vânzării. „Aceste creșteri de stocuri și mărfuri în tranzit apar ca adăugări „tranzitorii” sau nerepetabile la nivelul comenzilor și după ce acestea au fost satisfăcute, comenzile organizațiilor cu amănuntul către organizațiile cu ridicata scad la nivelul creșterii de 10%”.

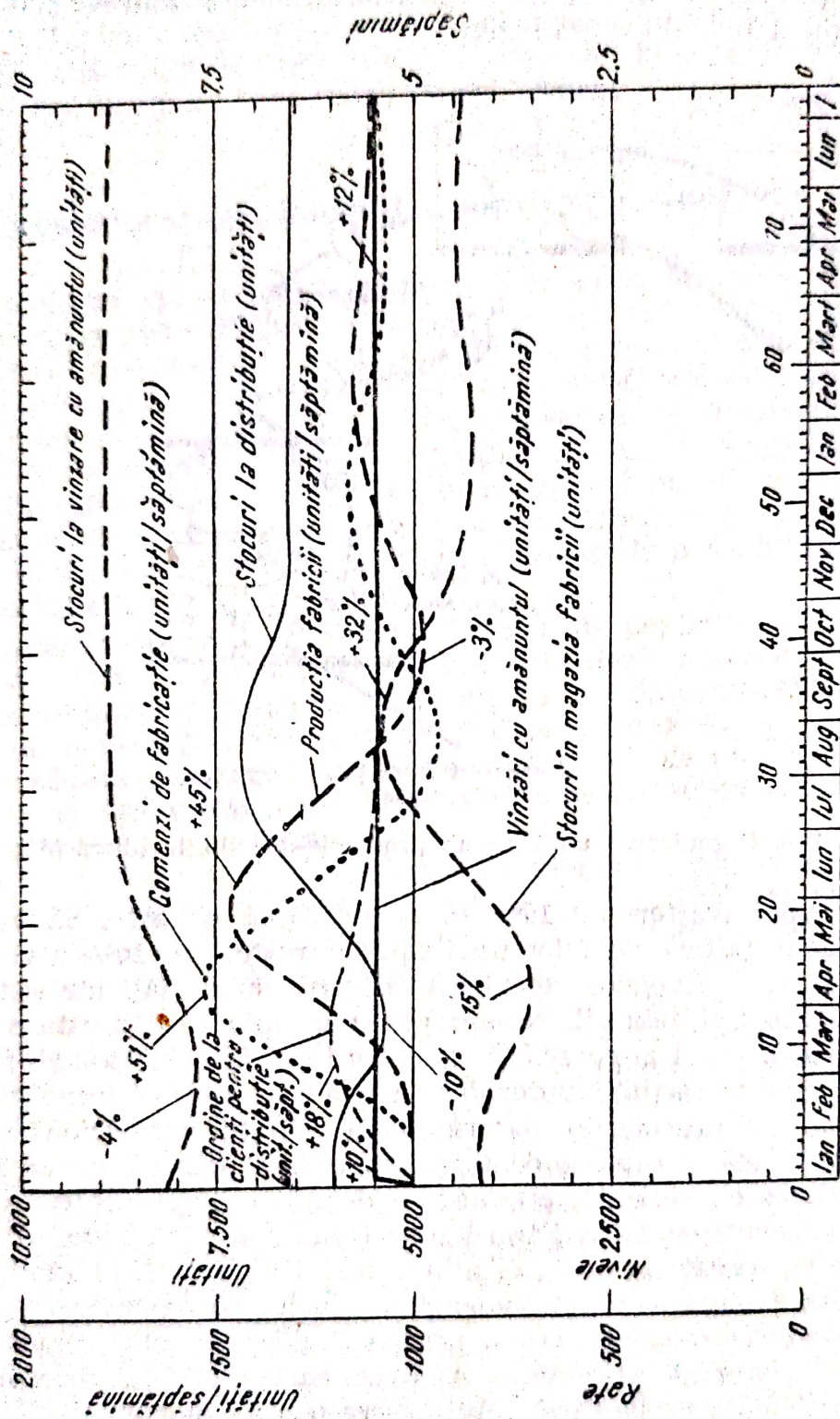


Fig. 15.7. Răspunsul sistemului producție-distribuție la o creștere bruscă cu 10% a vânzărilor cu amănuntul (modificat după [6, fig. 2.2.]).

Fluctuația comenzilor către magazia fabricii de la depozitele cu ridicata (neindicată pe diagramă) este amplificată peste creșterea de 18% în comenzile cu ridicata de la vânzătorii cu amănuntul la un vîrf de 34% peste nivelul lunii decembrie precedent. Aceasta se produce pentru că nivelul comenzilor intrate la depozitele cu ridicata rămîne deasupra vânzărilor cu amănuntul pe o perioadă de peste 4 luni și este interpretat în mod eronat ca continuarea creșterii cererii la vânzările cu amănuntul. Ca urmare, comenzile depozitelor cu ridicata către fabrică cuprind nu numai creșterea de 18% în comenzile pe care acestea le-au primit, ci și creșterea corespunzătoare a stocurilor distribuției și a comenzilor și mărfurile în tranzit între depozitele cu ridicata și fabrică.

În sfîrșit, comenzile de fabricație către fabrică sînt și mai mult amplificate, deoarece ele sînt plasate pe fondul comenzilor crescînde către magazia fabricii și descreșterii stocurilor din magazie, care s-au redus cu 15% sub nivelul lunii decembrie precedent. Rezultatul este creșterea comenzilor de fabricație pînă la un maximum de 51% în timpul celei de a 15-a săptămîni. Producția fabricii, care este întîrziată cu timpul de aprovizionare de 6 săptămîni, atinge un maxim de 45% în timpul săptămîinii a 21-a. În același timp, vânzările cu amănuntul rămîn cu 10% peste nivelul lunii decembrie precedent.

Pe măsură ce vânzătorii cu amănuntul își satisfac necesitățile de stocuri cu aprovizionările suplimentare pe care le primesc, ele își reduc comenzile către depozitele cu ridicata. Acestea din urmă descoperă că stocurile și nivelul aprovizionărilor depășesc necesitățile și reduc comenzile către fabrică. În cele din urmă producția fabricii scade cu 3% sub nivelul inițial din decembrie. Fluctuațiile nivelului de producție al fabricii produc desigur cheltuieli suplimentare considerabile și dau naștere unei stări de îngrijorare și confuzie.

Din acest exemplu rezultă în mod evident faptul că există interacțiuni extrem de importante între toate subunitățile principale ale întregului sistem. Decalajele de timp din sistem au o importanță deosebită în producerea efectelor oscilatorii prezentate în fig. 15.7. Aceasta se poate demonstra prin examinarea efectelor simplei eliminări a nivelului cu ridicata din model. Figura 15.8 arată că efectul este o reducere spectaculoasă în fluctuațiile producției la apariția unei creșteri de 10% în vânzările cu amănuntul, în comparație cu efectele prezentate anterior în fig. 15.7. Curba comparabilă din fig. 15.7 bazată pe modelul inițial de producție cu stocuri este inclusă în fig. 15.8 pentru comparație.

Studiu de caz — Compania Sprague Electric. Acest studiu de caz — Sprague Electric Co — care utilizează metodele de simulare dinamică discutate, a rezultat din cercetarea cauzelor fluctuației nivelului angajărilor, care au variat cu o rație de aproximativ 2 : 1 într-un interval de circa 2 ani. Fluctuațiile în angajări și producție au fost mai mari decît fluctuațiile în vânzări. Modelul de bază a fost elaborat de Fey [5] iar dezvoltarea modelului și rezultatele sînt discutate pe larg de către Forrester [6]. Compania Sprague Electric producea piese electronice, multe mii de articole de catalog active, utilizate în mari sisteme militare și industriale și se ți-

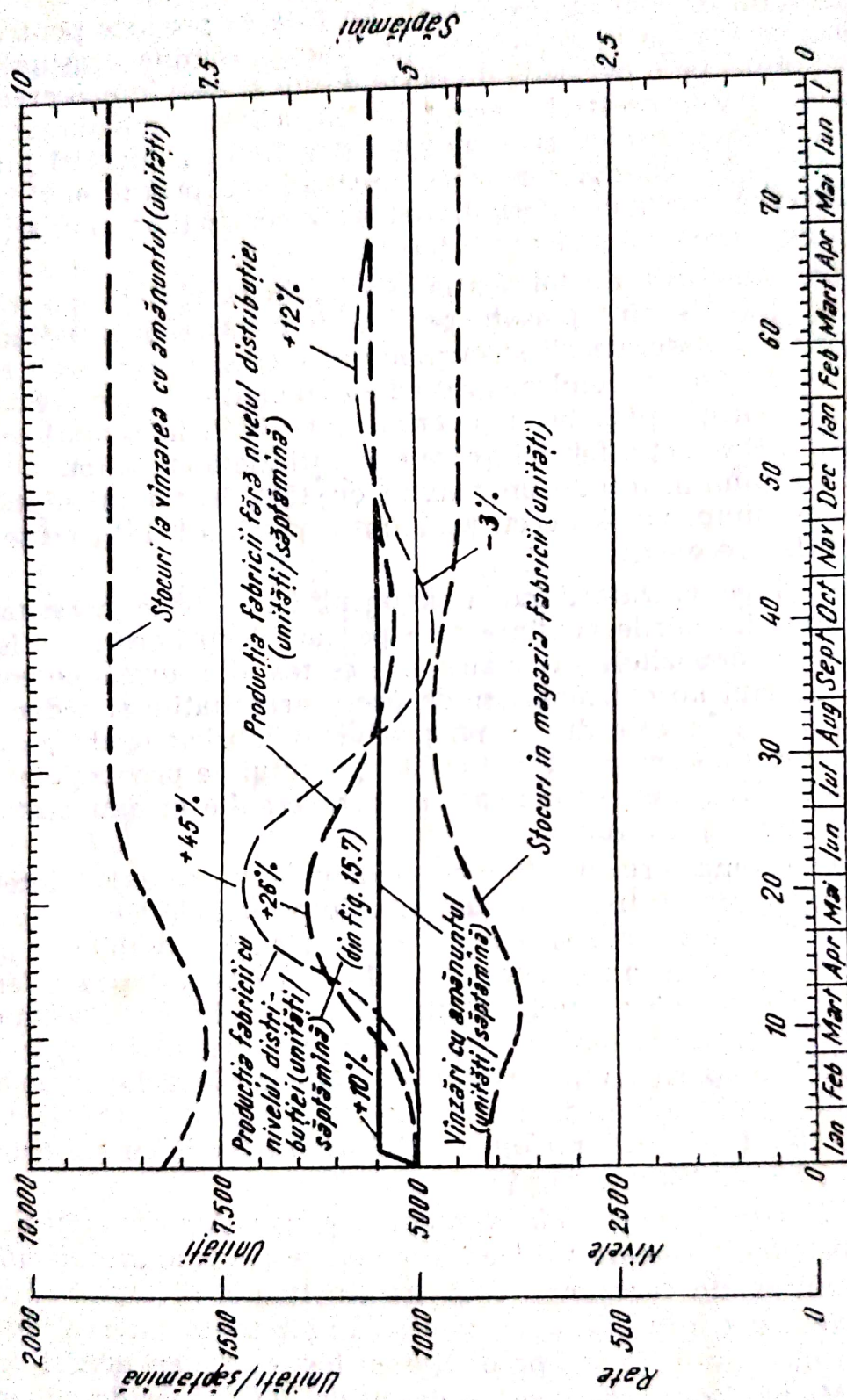


Fig. 15.8. Efectul eliminării nivelului distribuției (adaptare după [6, fig.2.7.])

ducției. De aceea, fluctuațiile în angajări și nivelul producției au fost ceva mai mari decât pentru vânzări.

Cînd s-a revizuit politica companiei, s-a pus accentul pe fluxul informațional și pe duratele de timp implicate în acest flux. De exemplu, informațiile despre stocuri au devenit un factor în luarea deciziilor de schimbare a nivelelor utilizării forței de muncă, în loc de a trece prin stadiul apariției fluctuațiilor de stocuri, sub forma rezervelor de fabricație.

Rezultatul noii politici a fost stabilizarea nivelelor forței de muncă, rezervelor fabricii și cerințelor de numerar. Fluctuația stocului a fost mai mare decât se aștepta, dar ciclul de stoc a fost sincronizat în funcție de intrările de documente spre decontare, astfel încît fluctuațiile de bani numerar au fost reduse considerabil.

Rezumat

Termenul „sistem de producție și stocuri” pune accentul pe faptul că avem de-a face cu un sistem total aprovizionare-producție-desfacere și nu numai cu sistemul fizic de producție. În cadrul organizației există legături interfuncționale care trebuie luate în considerație, cum sînt interacțiunile între producție, marketing, finanțe, aprovizionare etc. În fluxul general apar de asemenea decalări de timp care-și pun amprenta asupra naturii dinamice a sistemului. Deoarece e mai ușor să gîndim în termenii fluxului fizic, fig. 15.1 indică șase fluxuri importante. De o importanță capitală este fluxul informațional, care este utilizat la stabilirea controlului conducerii asupra cantității, calității și costurilor.

S-au stabilit două baze de clasificare a sistemelor de producție și stocuri : (a) sisteme continue și discontinue și (b) sisteme care produc pentru stoc și sisteme care produc fără stoc (la comandă). Prima bază este foarte utilă la considerarea problemelor de proiectare fizică și programare detaliată a activităților. Cea de-a doua bază de clasificare e utilizată în considerarea problemelor de planificare și programare agregată.

Abordarea unei conduceri operaționale cere nu numai analiza fluxului stocurilor și materialelor în faza de fabricație, ci și examinarea fluxului general de la aprovizionarea cu materii prime, trecînd prin fabricație și apoi desfacerea pînă la beneficiarul final. Cînd nu se ia în considerare sistemul ca un tot unitar, poate apare fragmentarea organizației, care conduce de obicei la stabilirea unor politici și practici individuale pentru fiecare unitate de organizare, care pot să nu fie cele mai bune pentru întregul sistem. Studiul companiei Purex arată că structura organizatorică de bază poate ușura promovarea ideii de sistem integrat. Noțiunea de „conducere a fluxului material integrat” cere de asemenea să nu privim separat producția sau desfacerea produselor, ci să considerăm sistemul combinat producție-desfacere. Obiectivul într-o asemenea situație este minimizarea costurilor sistemului total și nu a unor anumite costuri luate separat.

Studiile de simulare dinamică ale lui Forrester arată clar că întîrzierile de timp în cadrul sistemului total prezintă o importanță deosebită ; ele

indică o interdependență considerabilă a diferitelor subunități care compun sistemul. Utilizarea simulării dinamice oferă posibilitatea analizării cauzelor generale ale fluctuației producției, forței de muncă și a stocurilor. Când se fac asemenea simulări pentru anumite organizații, programul de simulare devine echivalentul unui laborator pe care conducerea poate să-l utilizeze pentru experimentarea efectelor diferitelor schimbări în politica întreprinderii.

Întrebări recapitulative

1. Folosind fig. 15.1 ca element de referință, discutați interdependența funcțiilor în contextul unei probleme specifice de control, la alegerea dv.

2. Ce se înțelege prin termenul „suboptimizare”? Ce înseamnă suboptimizarea organizațională?

3. Discutați structura generală a subsistemelor de control, folosind ca exemplu controlul calității.

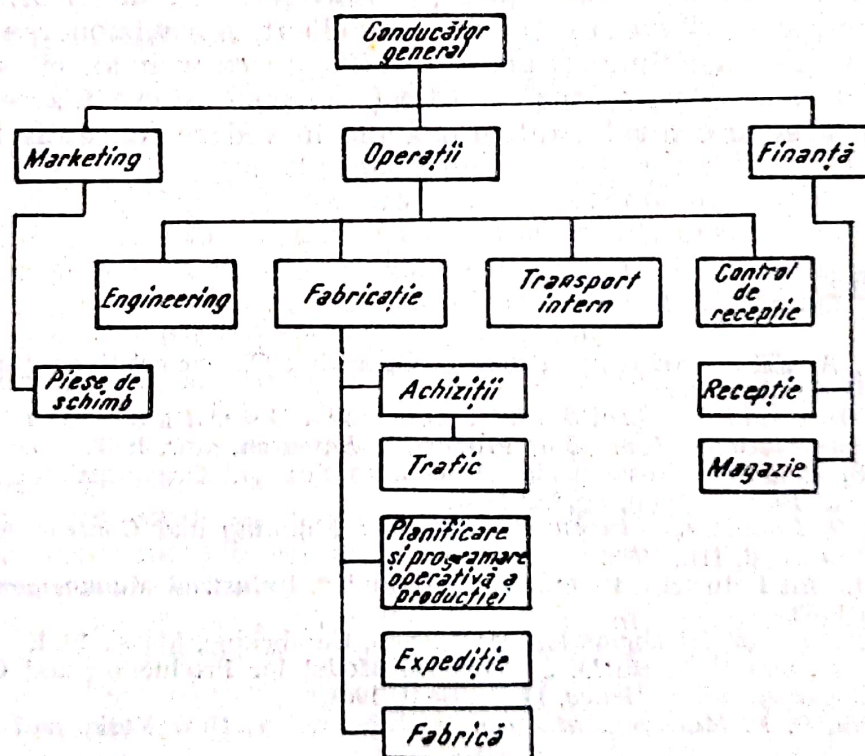


Fig. 15.10. Organizarea actuală a secției de transporturi de la Boeing Airplane Company (după [3]).

4. Ce valoare prezintă clasificarea sistemelor de producție și stocuri pe criteriul fluxului continuu sau discontinuu?

5. Ce valoare prezintă clasificarea sistemelor de producție și stocuri pe baza faptului dacă acestea produc sau nu pe stoc?

6. Ce este sistemul cu ateliere închise ? Dar cu ateliere deschise ?

7. Să se discute sistemul aprovizionare-produție-desfacere prezentat sub forma diagramei din fig. 15.3. Ce probleme de aprovizionare tind să influențeze producția și desfacerea ? Ce probleme de producție tind să influențeze aprovizionarea și desfacerea ? Ce probleme de desfacere tind să influențeze aprovizionarea și producția ?

8. Comparați conceptul de specializare funcțională cu cel de specializare în conducere, așa cum reiese din organizarea inițială la Purex Corporation.

9. Comparați noua organizare de la Purex cu sistemul general aprovizionare-produție-desfacere din fig. 15.3. Cum face noua structură organizatorică posibilă o abordare mai integrată a sistemului luat în totalitate ?

10. De ce, în simularea dinamică a lui Forrester a unui sistem producție-desfacere, o simplă creștere cu 10% în vânzările cu amănuntul produce oscilații mari în stocurile la diverse nivele ale organizației și în nivelul producției și nu are loc o reajustare lină la noul nivel al cererii ?

11. În fig. 15.10 se prezintă schema de organizare a diviziei transporturi de la Boeing Airplane Company. Pentru fiecare avion intră în producție peste 100 000 de diferite piese, componente și materii prime. Când este terminat, avionul este ridicat de către client. Aprovizionarea cu piese de schimb este o funcțiune importantă atât pentru armată, cât și pentru companiile aeriene. Propuneți și justificați un plan de organizare orientat spre planificarea și controlul integrat având în vedere concepția unui sistem total.

Bibliografie

- [1] *Abruzzi, A. „The Production Process : Operating Characteristics.“ *Management Science*, 11 (6), Apr. 1965.
- [2] *Alcalay, J. A. and E. S. Buffa. „A Proposal for a General Model of a Production System.“ *International Journal of Production Research*, Mar. 1963.
- [3] Brewer, S. H. and J. Rosenzweig. „Rheometrics and Organization“. *California Management Review*, 3 (3), Spring 1961.
- [4] Buffa, E. S. *Production—Inventory Systems : Planning and Control*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1968.
- [5] Fey, W. R. „An Industrial Dynamics Case Study“. *Industrial Management Review*, 4 (1), Fall 1962.
- [6] Forrester, J. *Industrial Dynamics*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1961.
- [7] *Reisman, A. and E. S. Buffa. „A General Model for Production and Operations Systems“. *Management Science*, 11 (1), Sept. 1964.
- [8] Schoderbek, P. P. *Management Systems*. John Wiley, New York, 1967.

6. Ce este sistemul cu ateliere închise ? Dar cu ateliere deschise ?
7. Să se discute sistemul aprovizionare-produție-desfacere prezentat sub forma diagramei din fig. 15.3. Ce probleme de aprovizionare tind să influențeze producția și desfacerea ? Ce probleme de producție tind să influențeze aprovizionarea și desfacerea ? Ce probleme de desfacere tind să influențeze aprovizionarea și producția ?
8. Comparați conceptul de specializare funcțională cu cel de specializare în conducere, așa cum reiese din organizarea inițială la Purex Corporation.
9. Comparați noua organizare de la Purex cu sistemul general aprovizionare-produție-desfacere din fig. 15.3. Cum face noua structură organizatorică posibilă o abordare mai integrată a sistemului luat în totalitate ?
10. De ce, în simularea dinamică a lui Forrester a unui sistem producție-desfacere, o simplă creștere cu 10% în vânzările cu amănuntul produce oscilații mari în stocurile la diverse nivele ale organizației și în nivelul producției și nu are loc o reajustare lină la noul nivel al cererii ?
11. În fig. 15.10 se prezintă schema de organizare a diviziei transporturi de la Boeing Airplane Company. Pentru fiecare avion intră în producție peste 100 000 de diferite piese, componente și materii prime. Când este terminat, avionul este ridicat de către client. Aprovizionarea cu piese de schimb este o funcțiune importantă atât pentru armată, cât și pentru companiile aeriene. Propuneți și justificați un plan de organizare orientat spre planificarea și controlul integrat având în vedere concepția unui sistem total.

Bibliografie

- [1] *Abruzzi, A. „The Production Process : Operating Characteristics.“ *Management Science*, 11 (6), Apr. 1965.
- [2] *Alcalay, J. A. and E. S. Buffa. „A Proposal for a General Model of a Production System.“ *International Journal of Production Research*, Mar. 1963.
- [3] Brewer, S. H. and J. Rosenzweig. „Rheometrics and Organization“. *California Management Review*, 3 (3), Spring 1961.
- [4] Buffa, F. S. *Production—Inventory Systems : Planning and Control*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1968.
- [5] Fey, W. R. „An Industrial Dynamics Case Study“. *Industrial Management Review*, 4 (1), Fall 1962.
- [6] Forrester, J. *Industrial Dynamics*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1961.
- [7] *Reisman, A. and E. S. Buffa. „A General Model for Production and Operations Systems“. *Management Science*, 11 (1), Sept. 1964.
- [8] Schoderbek, P. P. *Management Systems*. John Wiley, New York, 1967.

Previziunea și stocurile

Ce plan de producție va răspunde cerințelor vânzărilor? Ce efect va avea acest plan asupra nivelului stocurilor? Dar asupra nivelului forței de muncă? Dar asupra necesarului de capacitate? Ce fel de serviciu trebuie asigurat? Putem să ne permitem rupturi de stoc? Ce nivel de protecție împotriva rupturilor de stoc ar trebui asigurat? Cum vom controla aceste stocuri? Trebuie să cumpărăm materii prime pentru perioade foarte scurte sau în loturi mari? Cât de mari ar trebui să fie loturile de fabricat, cu alte cuvinte vom face 10, 50, 100 sau 1 000 dintr-o dată? Fiind dat un plan general de producție, cum trebuie să ajustăm nivelul producției când vânzările efective se abat de la previziuni? Cum procedăm cu programarea detaliată a secțiilor și mașinilor? Cum putem programa pentru a realiza o cât mai bună utilizare a oamenilor și mașinilor fără riscul unor mari cantități de piese în producție neterminată? Cum trebuie să programăm pentru a trece în timp util comenzile prin sistemul de producție? Există la toate aceste întrebări răspunsuri comune pentru modelele de producție discontinuă și pentru cele de producție continuă? O organizație care dă răspunsuri bune la toate aceste întrebări se descurcă probabil cu succes în planificarea și controlul producției și stocurilor.

Planurile de producție apar la mai multe nivele și trebuie mai întâi să facem o distincție între ele. Nivelul cel mai general al planurilor de producție se referă la proiectarea inițială a întregului sistem. Aici întocmim planuri care vor stabili direcțiile de bază pentru anii următori în ceea ce privește amplasarea și caracteristicile generale ale producției și detaliem anumite metode, echipamente și mijloace. Ne-am ocupat cu aceste probleme în partea a 3-a și am numit această secțiune „Proiectarea sistemelor de producție”, pentru a o deosebi de planificarea zilnică, lunară și chiar anuală în vederea realizării obiectivelor și sarcinilor imediate, pe termen scurt. Vom utiliza termenul „planificare” pentru a ne referi la activitățile cerute de operarea sistemului. Desigur, poate apăsarea periodic necesitatea reproiectării sistemului pentru a fi la curent cu tehnologia de producție și schimbările în proiectarea produselor și în compoziția lor.

În cadrul planificării producției, putem avea planuri pe termene relativ lungi, indicând cum trebuie utilizate mijloacele. Aceste planuri, bazate pe cereri anticipate, pot include suplimentări viitoare de capacități. Pe termene mai scurte însă, trebuie planificate programele de bază și nivelul stocurilor. Pe cele mai scurte termene trebuie planificate necesitățile de materiale pentru reperele individuale și pentru produse, trebuie sta-

bilit cîte articole vor fi prelucrate şi trebuie programate echipamentul şi forţa de muncă pentru toate reperele şi produsele, într-un mod care îmbină în aşa fel oamenii, materialele şi maşinile, încît acestea să fie disponibile la timpul potrivit şi în cantităţile necesare.

Stocurile

Funcţiunile stocurilor

Intr-un anumit sens, stocurile fac posibil un sistem raţional de producţie. Fără ele, nu am putea realiza un flux de producţie ritmic, nu am obţine o utilizare raţională a maşinilor şi costuri rezonabile de manipulare a materialelor şi nu ne-am putea aştepta să satisfacem în bune condiţii cererile. În fiecare stadiu al producţiei şi desfacerii, stocurile raţionale servesc funcţiunea vitală de „decuplare” a diferitelor operaţii ale fluxului de producţie într-o ordine care începe cu materiile prime, se continuă cu toate operaţiile de fabricaţie pînă la magazia de produse finite şi urmează apoi drumul depozitelor şi al magazinelor de desfacere. Între fiecare pereche de activităţi din această secvenţă, stocurile dau operaţiilor respective suficientă independenţă uneia faţă de cealaltă, în aşa fel încît operaţiile să se desfăşoare cu cheltuieli cît mai scăzute. Astfel, cînd se comandă materiile prime, aprovizionarea se face în cantităţi suficient de mari pentru a justifica o cheltuială suplimentară care e reprezentată de emiterea comenzii şi transportul pînă la uzină. Cînd se emit comenzi de fabricaţie pentru piese şi produse, încercăm să le dimensionăm în aşa fel încît să justifice costul scrierii comenzilor şi pregătirii maşinilor pentru executarea operaţiilor cerute. Altminteri, scrierea comenzii şi costul de pregătire ar putea deveni uşor prohibitive. Trecerea pieselor prin sistem în loturi tinde de asemenea să micşoreze cheltuielile de manipulare, pentru că piesele pot fi tratate în grupuri. La fel, în distribuirea produselor finite către magazine şi alte puncte de stoc, costurile de expediere şi de manipulare pe unitate se reduc dacă putem expedia în anume cantităţi. Stocurile nu sînt numai de dorit, ele sînt vitale pentru reducerea costului de fabricaţie.

Aceste avantaje se pierd în parte, cînd avem de-a face cu producţia pe bază de contract. Deoarece mărimea lotului este dictată de comanda clientului şi s-ar putea ca aceasta să nu se mai repete, nu putem risca producînd mai mult. Astfel, scrierea comenzii, manipularea materialelor şi costurile de pregătire a maşinilor sînt la fel de mari pentru lotul di-

mensionat în funcție de client ca și pentru lotul dimensionat ca optim. În mod similar, atunci când produsele sînt expediate clientului, nu putem beneficia de avantajul coeficienților de încărcare a mijloacelor de transport. În cazul în care comanda clientului a fost pentru un singur produs, toate cheltuielile trebuie absorbite de acest unic produs. Este ușor de observat de ce comenzile speciale în cantități mici sînt deosebit de costisitoare.

Din păcate, problema stocurilor nu are o singură fațetă, fapt care este cu siguranță cauza pentru care stocurile constituie o problemă în funcționarea unui sistem de producție. Dacă nu ar exista un nivel optim pe care să-l urmărim, nu ar exista probleme. Fiecare ar putea urma regula simplă „fă-ți stocuri cît mai mari posibil”. Stocurile reclamă imobilizări de capital, deci există un cost corespunzător de necesitate, asociat valorii lor. Nu numai atît, ele cer un spațiu prețios și absorb taxe de asigurare și impozite. În mod obișnuit, un concern industrial are cam 25% din capitalul total investit imobilizat în stocuri.

Avem deci o serie de costuri care sînt determinate de aprovizionare sau mărimea comenzii de producție și o altă serie de costuri care cresc odată cu nivelul stocurilor. Prima serie de costuri exercită presiuni pentru aprovizionări masive și loturi mari în producție în scopul reducerii la un nivel acceptabil a costurilor unitare de emiterie a comenzii și costurile de pregătire. A doua categorie de costuri reclamă loturi mici, în scopul menținerii costului stocurilor la nivele acceptabile. Sîntem în fața unei alte probleme, care cere din partea conducerii găsirea celor mai bune soluții și aplicarea unor reguli de decizie care au efectul echilibrării diverselor costuri cu tendințe opuse din sistemul considerat.

Tipuri de stocuri

Pentru a vedea ce tipuri de stocuri ar putea fi potrivite unor scopuri analitice, să luăm ca exemplu un sistem simplu, magazia unei fabrici, așa cum se arată în fig. 16.1. Fabrica produce un număr de produse, din care vom lua în considerare doar unul. Pentru acest anume produs există o cerere medie la magazie de 200 unități pe săptămînă. Procedurile normale la magazie constau în pregătirea unei comenzi de aprovizionare către fabrică, atunci cînd stocul din magazie scade la un nivel critic dat, numit punct de comandă. Pregătirea comenzii, aprobarea, expedierea prin poștă și primirea ei la fabrică durează o săptămînă. Odată ce comanda s-a primit la fabrică, încărcarea, transportul și descărcarea la magazie durează două săptămîni.

Stocuri de tranzit. Magazia trebuie, cel puțin, să dispună de suficient stoc pentru a satisface cererea pe durata timpului de tranzit. Fi-

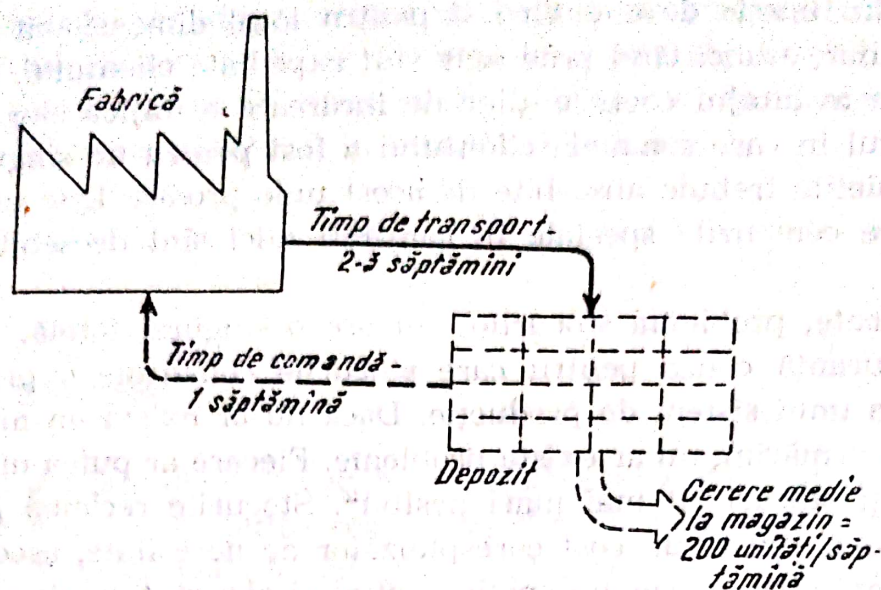


Fig. 16.1. Sistemul simplu fabrică-magazin.

gura 16.2 prezintă un grafic ideal al stocurilor ce trebuie să existe în magazie numai pentru acoperirea timpului de transport de la fabrică. Stocul de tranzit mediu este dat de produsul dintre timpul de transport și nivelul cererii sau $2 \times 200 = 400$ unități. În orice moment, deci, 400 de unități se află în mișcare de la fabrică spre magazie, ceea ce este echivalent, ma-

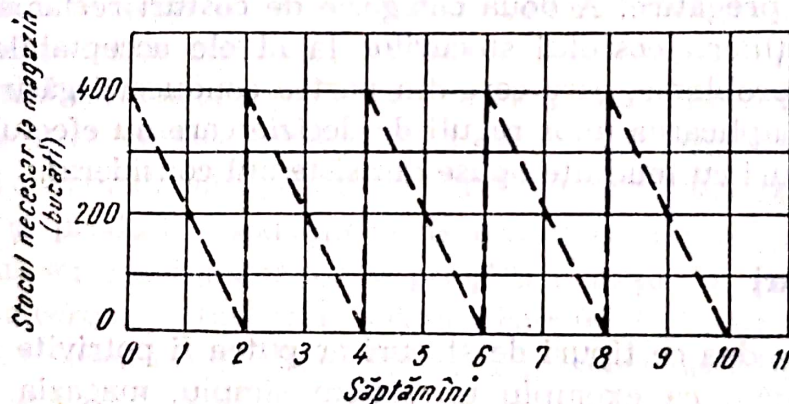


Fig. 16.2. Curba ideală a stocurilor necesare la magazin pentru a acoperi durata de transport de la fabrică. Stocul mediu de tranzit este produsul duratei de transport cu mărimea cererii, sau $2 \times 200 = 400$ bucăți. Stocul mediu în magazin este de $400/2 = 200$ bucăți.

gazia trebuie să mențină un stoc ce ia în considerare acest fapt. Întîrzierea de o săptămîină pentru timpul de comandă, are efectul unui timp de tranzit, deoarece magazia trebuie de asemenea să mențină stocuri pentru a acoperi acest decalaj. Aceasta este o situație generală. Orice decalaj în sistem generează necesitatea unor stocuri de tranzit. În interiorul unui sistem de producție le numim stocuri de producție neterminată, dar de cele mai multe ori ele se numesc pur și simplu stocuri.

Mărimea lotului sau stocuri „ciclu“. Să ne întoarcem la exemplul nostru. Deoarece transportul de la fabrică la magazin se face cu camionul, întrebarea logică este cât expediem la un moment dat. Cele mai multe din costurile de transport nu depind de cantitate (costurile de pregătire a celor solicitate și alte costuri legate de operații funcționărești). Nu vom încerca acum să răspundem la întrebarea „care ar trebui să fie mărimea lotului“ în acest caz, pentru că problema generală se va discuta mai târziu. Să pre-

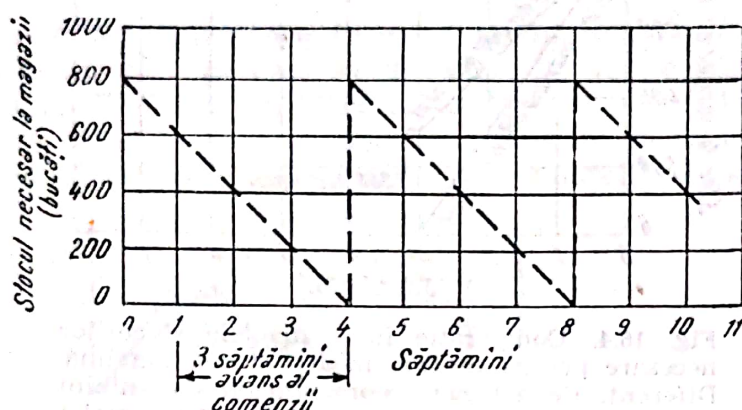


Fig. 16.3. Curba ideală a stocurilor necesare la magazin când se emit comenzi de 800 bucăți. Stocul mediu este acum $800/2=400$ bucăți. Stocurile de tranzit sînt neschimbate.

supunem că aceste comenzi sînt plasate pentru o încărcătură de 800 de unități, echivalentul unei aprovizionări pentru patru săptămîni. Fig. 16.3 prezintă un grafic ideal al stocurilor necesare la magazie cînd se plasează comenzi de 800 de unități. Vedem că stocul mediu la magazie trebuie în mod necesar să crească.

Stocuri tampon. Figura 16.3 este, desigur, complet nerealistă pentru că presupune că nivelul cererii, timpul de transport și timpul de comandă sînt toate constante. Știm că în mod obișnuit acești factori nu sînt constanți, așa că este normal să existe un stoc tampon pentru protecția împotriva variațiilor imprevizibile ale cererii și ale timpului de aprovizionare. Figura 16.4 prezintă diferența în nivelele stocului din magazie care poate să apară dacă s-a înregistrat cererea maximă de 300 unități în timpul de aprovizionare de 3 săptămîni. Pentru a se evita ruptura de stoc, ar fi necesar un stoc tampon de 300 de unități. După cum vom vedea, tehnicile care iau în considerare incertitudinea sînt foarte importante în modelele de stocuri.

Stocuri de decuplare. Ne-am referit mai înainte la funcțiunea de decuplare. Stocurile fac posibile desfășurarea operațiunilor într-o oarecare independență reciprocă, în așa fel încît să se poată realiza operațiuni economicoase. De exemplu, cu ajutorul stocurilor, operația de depozitare din fig. 16.1 se poate desfășura relativ independent de fabricație. La fel, exis-

tența stocurilor la nivelul desfacerii cu amănuntul face posibilă realizarea acestei funcții relativ independent: stocurile de înlocuire sînt comandate numai periodic. Pentru asigurarea funcției de decuplare nu mai sînt necesare alte stocuri suplimentare pentru celelalte funcțiuni pe care le-am dis-

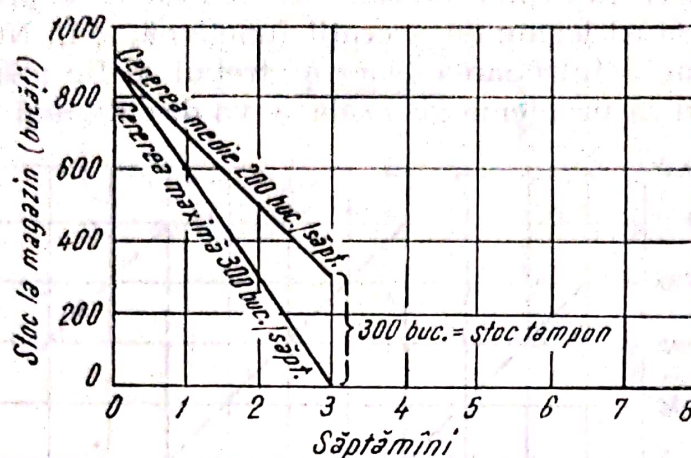


Fig. 16.4. Comparatie între nivelele stocurilor necesare pentru cererea medie și cea maximă. Diferența de 300 buc. reprezintă un stoc minim „tampon”, necesar pentru asigurarea protecției contra apariției rupturii de stoc, rezultînd din variațiile aleatoare ale cererii.

cutat. Dar existența stocurilor asigură independența necesară între stadiile producției.

Stocuri sezoniere. Multe produse au o comportare previzibilă, dar sezonieră în cursul anului. Cînd se întîmplă aceasta, conducerea are de ales, între schimbarea nivelelor de producție de-a lungul anului pentru a absorbi fluctuațiile cererii și absorbirea parțială sau totală a fluctuațiilor cererii prin stocuri. Dacă încercăm să ne adaptăm la curba sezonieră a cererii prin schimbarea nivelelor de producție, investiția de capital în sistem trebuie să asigure vîrfurile de capacitate și trebuie absorbite costurile pentru angajarea, instruirea și detașarea forței de muncă. Folosirea stocurilor poate asigura deseori o mai bună echilibrare a acestor costuri. Conceptele și metodele de rezolvare a problemei sezoniere sînt discutate în cap. 17.

Înainte de a analiza modelele și metodologiile elaborate pentru conducerea stocurilor, vom discuta problema previziunilor. Pentru a decide cu ce riscuri putem justifica investiția în stocuri, trebuie să dispunem de un mijloc de estimare a cererii.

Previziunea

Previziunea cererii este o dată de intrare necesară pentru unele din cele mai importante modele de decizie în conducerea producției și a operațiilor, în special a acelor legate de stocuri, planificarea și programarea

agregată și controlul producției. Desigur, previziunile constituie de asemenea, un element de plecare esențial în proiectarea sistemelor de producție, deoarece ele reprezintă un factor direct în determinarea modalităților celor mai economice de proiectare a produselor, proceselor, echipamentului, sculelor, capacităților și amplasărilor.

Orizonturi de timp

Previziunile pot fi necesare, în mare, pentru trei perioade de timp diferite : viitorul imediat, pe care să se bazeze planurile pentru lucrări curente ; următorii 3—5 ani, pe care să se bazeze planurile de ajustare a capacităților și previziuni pe termen lung pe care să se bazeze planurile de perspectivă pentru amplasările uzinelor și magaziiilor, pentru capacități

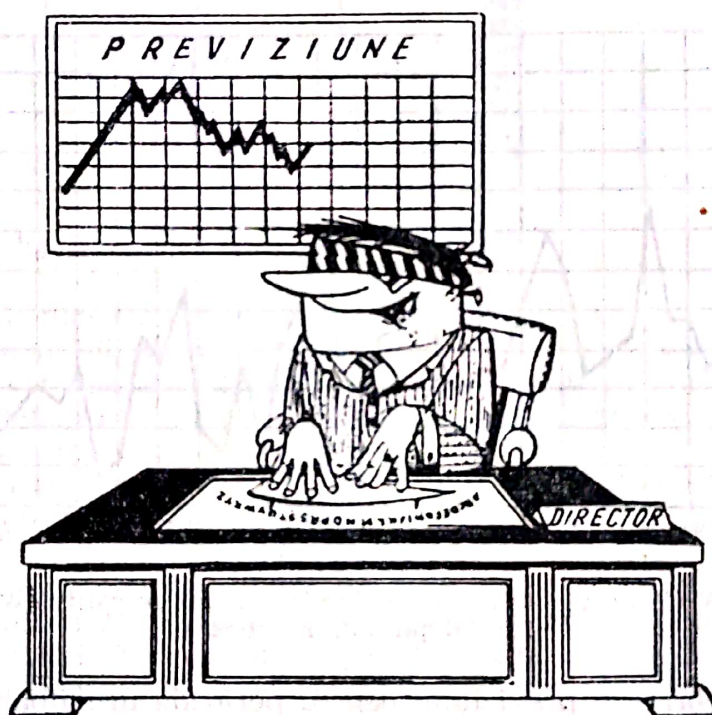


Fig. 16.5. Retipărită cu permisiunea Secției Helipot a companiei Beckman Instruments, Inc.

și schimbări în profilul de producție sau al serviciilor. Previziunile pe termen mediu și lung implică studiul tendințelor și preferințelor consumatorului, al dezvoltării și tendințelor tehnologice.

Pe noi ne interesează previziunile pentru lucrări curente în scopul planificării în limitele unui orizont de timp rezonabil în viitor. Definirea orizontului de timp rezonabil depinde de valoarea incrementală a perioadelor suplimentare de informații previzionale. În mod obișnuit, dacă cererea îmbracă un aspect sezonier, un orizont de planificare rațional trebuie să cuprindă un anotimp întreg.

Metodologia de previziune

Metodologia de previziune pe care o vom discuta este aplicabilă la conducerea lucrărilor curente pentru producția de articole pe stoc. Conducerea acestor lucrări curente este strins legată nu numai de problema stocurilor, ci și de funcțiunile de planificare și programare a producției, discutate în capitolele 17 și 18.

Tipurile de cereri pentru anumite produse sau servicii pot prezenta mari variații, dar pot fi reduse, în general, la cinci componente : cererea medie, tendințe ale mediei, efecte sezoniere, efecte ciclice și variații aleatoare. Fig. 16.6 reprezintă o porțiune din înregistrarea vânzărilor lunare a unui aparat de gătit produs de firma Wearever Inc. Această figură prezintă situația generală, în care acționează simultan cel puțin patru din cele cinci componente (variațiile ciclice nu intră în preocupările noastre). Trebuie să

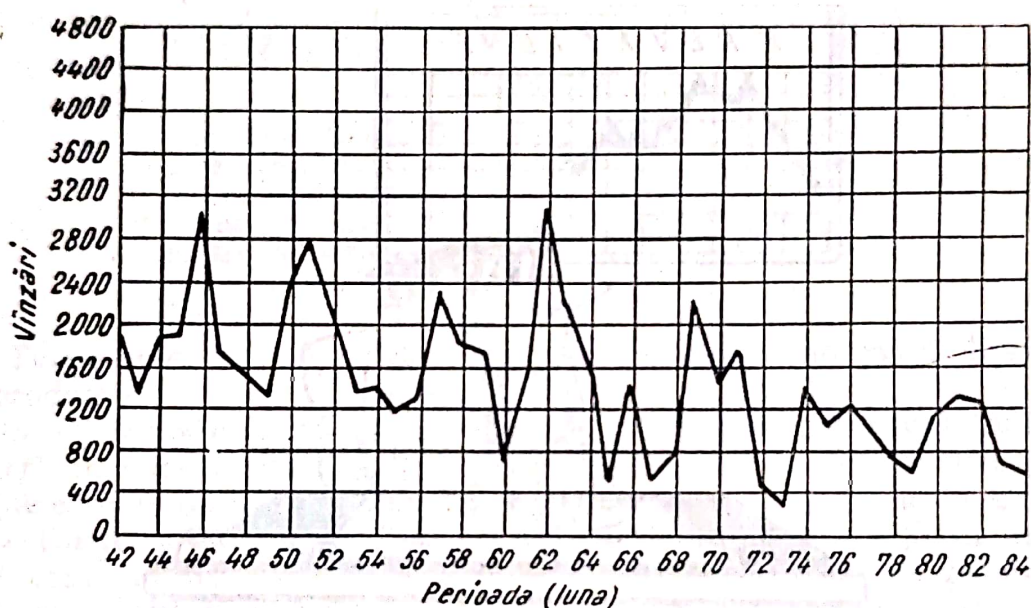


Fig. 16.6. Curba vânzărilor reale ale unui aparat de gătit la Wearever, Inc (după [15], modificată).

reușim să elaborăm o previziune pentru perioada următoare care să ia în considerare cele patru componente : cererea medie, tendința, efectele sezoniere și variațiile aleatoare.

Cererea medie. Analizând fig. 16.6 reiese că cererea medie pe toată perioada de 3 ani și jumătate nu este semnificativă, deoarece tendința este un factor important. Rezultă deci că este necesară un fel de medie mobilă care pune accentul pe evenimentele recente și estimează efectul tendinței. Mai mult, estimarea cererii pentru perioada următoare trebuie să țină seama de variația sezonieră așteptată. În sfârșit, când facem estimarea pentru perioada viitoare, nu dorim să fim influențați de variațiile aleatorii ale cererii, sau, mai corect spus, dorim să exprimăm cererea așteptată în limitele probabile de abatere de la valoarea estimată, abateri datorite cauzelor aleatorii.

Modalitatea obișnuită de nivelare a efectelor variațiilor aleatorii ale cererii este estimarea cererii medii printr-un fel de medie mobilă. Tabelul 16.I prezintă câteva eșantioane de date privind cererea, date luate din fig. 16.6 pentru primele 11 perioade. Observați atât în fig. 16.6, cât și în tabelul 16.I, că cererea efectivă prezintă variații. Media mobilă de trei luni

Tabelul 16.I. Cererea actuală și media mobilă pe perioade de trei și cinci luni *

Perioada	Cererea actuală	Evoluția medie pe 3 luni	Evoluția medie pe 5 luni
42	2.000	—	—
43	1.350	1.767	—
44	1.950	1.758	2.075
45	1.975	2.342	2.025
46	3.100	2.275	2.065
47	1.750	2.133	1.935
48	1.550	1.533	1.980
49	1.300	1.683	1.915
50	2.200	2.092	2.035
51	2.775	2.442	—
52	2.350	—	—

* Datele după fig. 16.6 asupra cererii aparatelor de gătit

este totuși mult mai stabilă pentru că cererea pe fiecare lună primește o pondere de numai 1/3. Valorile extreme nu se iau în considerare: dacă ele reprezintă simple variații aleatorii ale cererii, nu ne influențează prea mult dacă modelăm cererea conform mediei mobile pe trei luni. Se obține o nivelare mai consistentă dacă se face media pe o perioadă de timp mai lungă, așa cum se arată în tabelul 16.I, cu o medie mobilă de cinci luni. Valorile extreme sînt încă mai mult nivelate, deoarece fiecare perioadă de cerere primește o pondere de o cincime în media mobilă.

Mediile mobile simple asigură un efect de nivelare, dar putem fi interesați mai mult în datele cele mai recente și am dori să accentuăm aceasta în estimarea cererii. Acest obiectiv poate fi atins utilizînd mediile ponderate. O metodă potrivită și ușor de utilizat pentru realizarea ponderării și nivelării diferențiate este cea a mediei mobile cu ponderi exponențiale.

Cel mai simplu model de nivelare exponențială estimează cererea medie previzională pentru perioada următoare F_t prin adăugarea sau scăderea unei părți (α) din diferența dintre cererea curentă efectivă D_t și ultima previziune a cererii F_{t-1} . Noua medie previzională F_t este deci:

Noua medie nivelată = vechea medie + α (cererea nouă — media veche) sau, exprimat simbolic:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(D_t - F_{t-1}). \quad (16.1)$$

Constanta de nivelare are valori cuprinse între 0 și 1, dar în mod obișnuit se utilizează valorile cuprinse între 0,01 și 0,30.

Ecuția 16.1 poate fi rearanjată într-o formă mai convenabilă și, poate mai ușor de înțeles, sub forma:

Noua medie nivelată $= \alpha$ (cererea nouă) $+(1-\alpha)$ (media veche sau, exprimat simbolic,

$$F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_{t-1}. \quad (16.2)$$

Dacă $\alpha = 0,10$, atunci ecuația 16.2 arată că previziunea cererii pentru perioada următoare F_t se va determina prin adunarea a 10% din valoarea noii cereri efective D_t la 90% din ultima medie previzională F_{t-1} . Din moment ce noua valoare a cererii D_t include variația aleatoare posibilă, înălțurăm 90% din aceste variații. În mod evident, rezultă că valorile mici ale lui α vor avea un efect de nivelare mai puternic decât valorile mari. Altfel zis, valorile mari ale lui α vor reacționa mai rapid la schimbările reale (ca și la fluctuațiile aleatorii) în cererea efectivă. În alegerea lui α ne ghidăm în general după rațiune, deși un studiu ar putea duce la valori care asigură efecte economice optime sau aproape optime.

Este important să privim perioadele de timp pentru F_t , D_t și F_t în perspectivă și să recunoaștem că așa numita noua medie previzională F_t nu reprezintă o extrapolare a datelor cunoscute ale cererii. Ca ajutor în conducerea lucrărilor curente este mai curînd folosită media nivelată cea mai recentă. Într-un fel, aceasta nu este o previziune, ci o exprimare a cererii efective. Ca o comparație, să ne referim la conducerea unui automobil în trei condiții: (1) prin urmărirea drumului prin parbriz, (2) cu parbrizul acoperit, dar cu posibilitatea de a privi prin geamurile laterale și (3) cu parbrizul și geamurile laterale acoperite privind prin geamul din spate folosind oglinda retrovizoare. Situația noastră poate fi comparată cu a doua prezentată mai sus: putem privi pe geamurile laterale. De fapt, deoarece trebuie să existe un decalaj de timp în prelucrarea informațiilor privind cererea efectivă D_t , în realitate privim afară prin geamurile laterale din spate. Nu se fac estimări, proiecții sau extrapolări; fiecare valoare actualizată se bazează numai pe o ponderare a datelor cererii efective din trecut, pentru a reliefa experiența cea mai recentă.

Ecuația 16.2 ponderează, de fapt, toate datele cererii efective din trecut, deși aceasta nu apare în mod evident, ci numai prin intermediul lanțului de calcule periodice pentru producerea mediilor previzionale în fiecare perioadă. În ecuația 16.2 spre exemplu, termenul F_{t-1} a fost calculat anterior din:

$$F_{t-1} = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-2}$$

care include cererea efectivă precedentă D_{t-1} . Termenul F_{t-2} a fost calculat în mod similar, incluzînd pe D_{t-2} , ș.a.m.d. înapoi pînă la începutul seriei. Deci, previziunile se bazează pe o prelucrare secvențială reprezentînd toate cererile efective trecute.

Efectele tendinței. Dacă datele ar fi prezentat o tendință, ecuația 16.2 ar fi răspuns la aceasta, dar cu un decalaj. Însă tendința pentru fiecare perioadă este o simplă diferență între ultimele două medii previzionale, $F_t - F_{t-1}$. Această diferență reprezintă o altă serie care poate fi estimată

și nivelată prin medierea exponențială ponderată, la fel ca și cererea medie. Rezultă că ajustarea noii medii a tendinței T_t este :

$$T_t = \alpha (F_t - F_{t-1}) + (1 - \alpha) T_{t-1}. \quad (16.3)$$

Cererea așteptată $E(D)$ pentru perioada următoare, incluzînd ajustarea tendinței, este media previzională F_t calculată cu ecuația 16.2 plus o parte din noua tendință medie T_t calculată cu ecuația 16.3

$$E(D) = F_t + \frac{(1 - \alpha) T_t}{\alpha}. \quad (16.4)$$

Termenul $(1 - \alpha)/\alpha$ corectează decalajul în ajustarea tendinței T_t . De notat că singurele valori necesare pentru actualizarea unei previziuni sînt α , D_t , F_{t-1} și T_{t-1} . Totuși, toate datele privind cererea efectivă din trecut sînt ponderate în cadrul modelului, dar cu o descreștere rapidă a ponderilor pe măsură ce mergem înapoi în timp. Dacă dorim să facem previziuni pentru un număr mare de articole cum se întîmplă de obicei, întreaga prelucrare trebuie făcută pe calculator, necesitînd un consum minim de memorie pe articol, singurele date noi furnizate programului de calcul la fiecare perioadă fiind cererea efectivă curentă D_t .

Ajustări sezoniere. Rațiunea pentru includerea ajustării sezoniere într-un model previzional cu nivelare exponențială este crearea unei serii de bază care reprezintă ciclul sezonier. Se calculează apoi pentru fiecare perioadă un raport între seria cererii efective și cea de bază. Acest raport

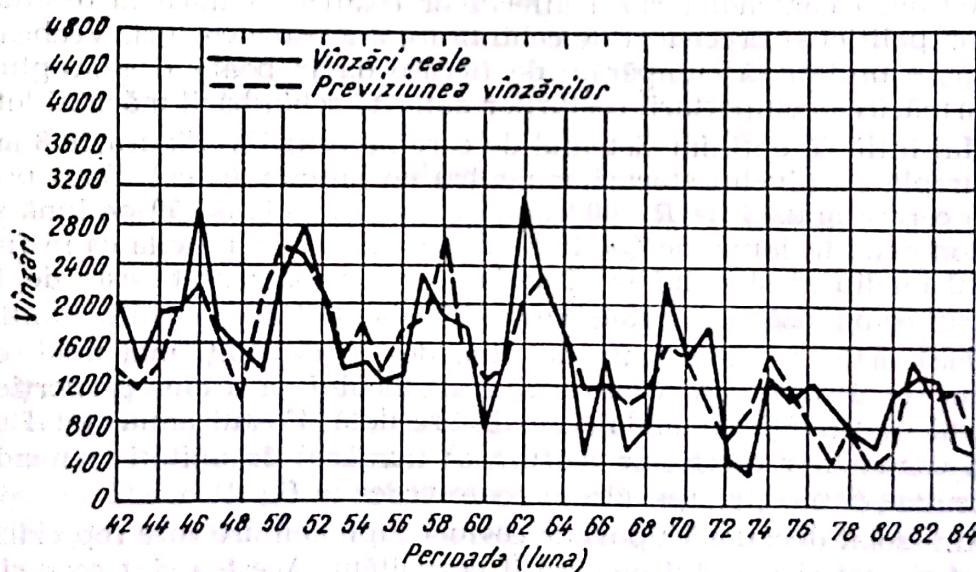


Fig. 16.7. Vînzările reale și previziunea exponențială pentru un aparat de gătit la Wearever, Inc (după [15], modificată).

este apoi nivelat, corectîndu-l de efectele tendinței, rezultînd un indice al cererii așteptate. În final, se calculează cererea așteptată $E(D)$ printr-o înmulțire perioadă cu perioadă a cererii efective a perioadei D_t cu indicele nivelat, rezultînd o cerere previzională ce include tendința și efectele se-

zoniere. Pentru a studia exemple de calcul ce folosesc modelul exponențial simplu reprezentat de ecuația 16.2 sau un model ce include efectele tendinței reprezentat prin ecuația 16.4 ca și exemple ce includ efectele sezoniere se vor consulta referințele [3] și [6].

Metodologia de nivelare exponențială este un mod competent și eficient de previziune a cererii pentru lucrări de planificare curentă. În fig. 16.7 se prezintă un grafic al vânzărilor efective și al celor previzionate pentru o instalație de gătit produsă de Wearever Inc. Previziunea nivelată exponențial înregistrează media, tendința și efectele sezoniere, dar nu elimină variațiile extreme ale cererii, considerându-le simple efecte aleatoare.

Există desigur, o întreagă metodologie statistică echivalentă implicând medii mobile simple, estimarea tendinței prin analiza regresilor, și așa mai departe, dar volumul de muncă cerut este mai mare și nu se adaptează atât de bine calculului automat, deoarece cere spațiu mare de memorie pentru calculul de previziune al fiecărui articol.

Mărimea comenzilor de aprovizionare și producție

Cantitățile de comandă de aprovizionat

Acțiunea contradictorie a diferitelor costuri conduce la o situație ce reclamă politici și proceduri de echilibrare a acestor costuri. Vechea întrebare „cite unități să cumpărăm de fiecare dată“ poate fi conceptualizată prin urmărirea comportării costurilor datorită schimbării mărimii loturilor.

Mai întâi, să definim sistemul de care ne ocupăm. Figura 16.8 arată ce se întâmplă cu nivelul stocurilor pentru un anumit articol. Dacă presupunem o cerere anuală de $R=600$ unități, sau o medie de 50 pe lună și dacă vom comanda în loturi de $Q=100$, nivelul stocului va oscila ca în fig. 16.8. Nivelul mediu al stocului în situația teoretică prezentată este de $1/2$ din numărul comandat la o perioadă sau $Q/2=50$ unități.

Dacă articolul este comandat mai des în cantități mai mici, cum se arată în fig. 16.8 b, observăm că nivelul stocului va scădea proporțional cu numărul de unități comandate de fiecare dată. Costul anual total de plasare a comenzilor crește, pe măsură ce numărul de unități comandate de fiecare dată descrește, așa cum se poate vedea în fig. 16.8.

Am izolat deci două tipuri de costuri suplimentare care reprezintă măsura eficienței sistemului pe care îl dezvoltăm. Acestea sînt costurile asociate cu nivelul stocului, *costuri de depozitare*, și cu numărul de comenzi plasate, *costuri de achiziție*.

Pentru a defini mai departe sistemul de care ne ocupăm, să încercăm să construim un grafic care să prezinte relația generală între Q (mărimea lotului) și costurile variabile pe care le-am izolat. Am observat în fig. 16.8 că dacă Q s-a dublat, nivelul stocului mediu s-a dublat de asemenea. Să presupunem că menținerea unei unități de stoc ar costa $C_H=0,15 \$$ pe an

(incluzind dobânzi, asigurări, impozite etc.). Nivelul mediu al stocului fiind $Q/2$ și costul pe articol de stoc pe an fiind $C_H = 0,15 \$$, costul variabil anual asociat stocului este :

$$\frac{Q}{2} C_H = \frac{Q}{2} (0,15) = 0,075Q.$$

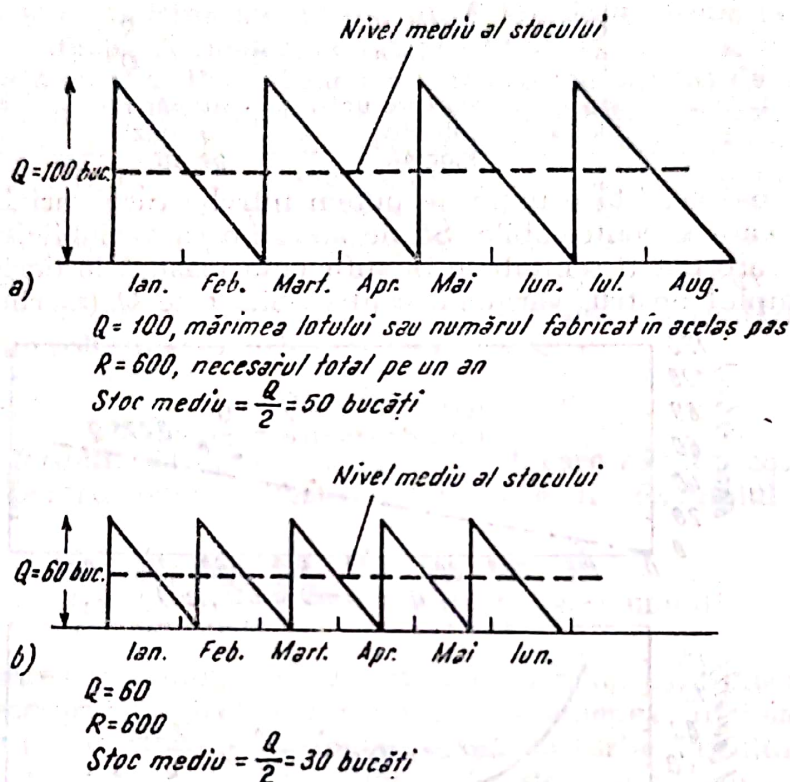


Fig. 16.8. Model simplificat pentru efectul mărimii lotului asupra nivelelor stocului.

Substituind diferite valori pentru Q , putem trasa grafic rezultatul ca în fig. 16.9 a.

Putem reprezenta grafic costurile asociate comenzii într-un mod similar. Să folosim simbolul C_p pentru reprezentarea costurilor de pregătire și urmărire a unei comenzi. Calculăm numărul de comenzi prin $R/Q = 600/Q$. Dacă fiecare pregătire a comenzii costă $C_p = 20 \$$, atunci costul variabil anual total datorit comandării este :

$$\frac{R}{Q} C_p = \frac{600 \times 20}{Q} = \frac{12\,000}{Q}.$$

Deci, pe măsură ce Q crește, costul variabil anual datorită comandării descrește, ceea ce este normal : în timp ce Q crește, numărul de pregătiri ale comenzilor descrește, rezultind și o scădere a costului variabil. Această relație e reprezentată grafic în fig. 16.9 b prin substituirea diferitelor valori ale lui Q în relația $12\,000/Q$.

Figura 16.9 c prezintă curba costului variabil total rezultat, determinat simplu, prin adunarea celor două curbe precedente. Avem astfel un model care exprimă eficiența E ca o funcție de variabile care definesc sistemul. Ecuația pentru curba costului total este de asemenea determinată prin simpla adunare a ecuațiilor pentru cele două funcții de cost separate, și avem

$$E = \frac{Q}{2} C_H + \frac{R}{Q} C_P$$

cost variabil total = stoc mediu cost pe unitate de stoc/an + număr de comenzi pe an costul unei comenzi

Examinînd această ecuație ne putem întreba care variabile sînt controlabile și care necontrolabile. Să ne amintim că variabilele controlabile sînt acelea care pot fi schimbate în suficientă măsură la dorința conducerii. În exemplul nostru, variabila controlabilă este Q (mărimea lotului).

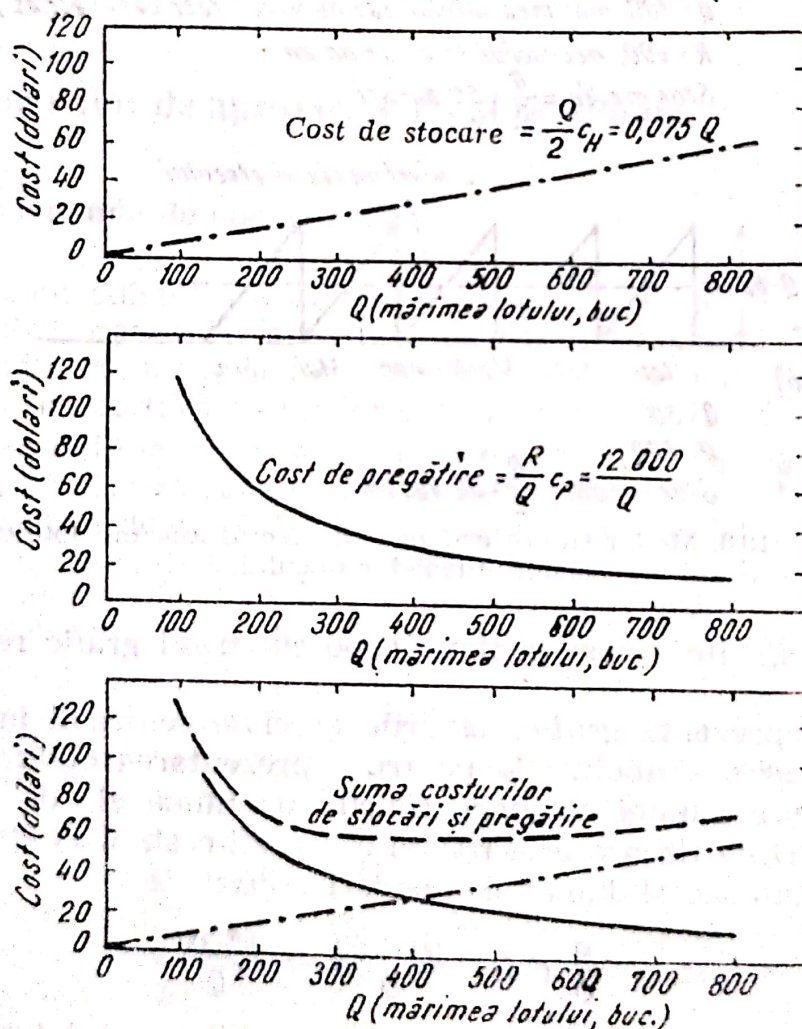


Fig. 16.9. Model grafic al problemei simple a stocurilor.

Variabilele necontrolabile sînt acelea pe care conducerea nu le poate controla, cel puțin în cadrul limitărilor problemei. De exemplu, cererea consumatorilor, taxele și ratele de asigurare cad în această categorie. Pentru

exemplul nostru, variabilele necontrolabile sînt C_H (costul pe unitate de stoc), R (cererea sau necesarul) și c_p (costul de pregătire a comenzii). S-ar putea obiecta că C_H ar putea fi influențat de către conducere prin acțiuni menite să reducă impozitele sau ratele de asigurare, totuși, conducerea nu poate schimba după bunul plac taxele și asigurările. În general, schimbările în rata impozitului se vor reflecta în E și conducerea va răspunde prin ajustarea lui Q în vederea menținerii lui E la minim. Noua politică va fi cea optimă, în funcție de noua rată a impozitului.

O soluție generală. Pentru modelul nostru simplificat de stocuri, putem determina punctul de minim al curbei costului variabil total din fig. 16.9 c. Minimul este dat de $Q=400$ unități. Aceasta este soluția pentru o problemă specifică cu valori date pentru C_H , R și c_p . Dar lucrul important care rezultă din acest model este că putem obține o soluție generală care ne va da direct punctul minim pentru orice valori ale lui C_H , R și c_p . Din ecuația costului variabil total, putem obține o formulă pentru punctul minim al curbei, prin utilizarea calculului diferențial. Formula care reprezintă soluția generală a modelului este

$$Q = \sqrt{2Rc_p/C_H}. \quad (16.5)$$

Această formulă dă direct valoarea lui Q , care asigură costul variabil total minim pentru model. Substituind valorile din exemplul nostru, obținem

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 600 \times 20}{0,15}} = \sqrt{160\,000} = 400 \text{ unități.}$$

La utilizarea formulei, dacă dorim să exprimăm cantitatea economică în dolari, necesarul va trebui exprimat de asemenea în dolari. Similar, dacă necesarul este exprimat în indici lunari, costurile stocului vor trebui, de asemenea, exprimate ca indici lunari. Acestea, ca și alte schimbări ale unităților de măsură, conduc la modificări aparente ale formulei utilizate în practică, deși rezultatul final, ca mărime a comenzii, este același. În practică, nu se utilizează prea des formula ca atare, ci mai curînd diagrame, grafice și tabele bazate pe formulă, în vederea reducerii volumului de calcule.

Efectul rabaturilor la cantitate. Formula de bază pentru mărimea economică a lotului presupune un preț fix de aprovizionare. Cînd apar rabaturile la cantitate, prin calcule suplimentare simple se determină dacă există vreun avantaj net. Pentru ilustrare, să presupunem că solicitarea producătorului pentru un articol este 2 000 buc. pe an, costurile de achiziție sînt de 10 \$ pe comandă și costul de înmagazinare este de 16% pe an pe unitate de stoc mediu. Formula (16.5) indică o cantitate economică de comandă de

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 2\,000 \times 10}{0,16}} = \sqrt{250\,000} = 500 \text{ unități.}$$

Prețul de aprovizionare e stabilit la 1 \$ pe unitate, în cantități sub 1 000 și de 0,95 \$ pe unitate în cantități peste 1 000. Dacă cumpărăm în lo-

turi de 1 000, economisim 100 \$ pe an la prețul de aprovizionare plus 20 \$ la costul de achiziție, din moment ce sînt necesare numai două comenzi pe an pentru satisfacerea necesităților anuale. Economia de 120 \$ pe an trebuie să fie mai mare decît costul stocurilor suplimentare care ar fi apărut dacă nu ne-ar fi atras rabatul de preț. La o mărime a comenzii sub 500 unități, stocul mediu este de $250 \times 1,0 \times 0,16 = 40 \$$. Dacă se plasează comenzi de 1 000 unități, costurile stocurilor ar fi $500 \times 0,95 \times 0,16 = 76 \$$. Rezultă un cîștig net de $120 - (76 - 40) = 84 \$$ prin comandarea în loturi de 1 000 în loc de 500. Dacă furnizorul face o a doua reducere de preț la 0,93 \$ pe unitate pentru loturi de 2 000 și peste, o analiză similară arată că, în acest caz, costurile variabile ale stocului depășesc variația prețului și economiile la comandare, așa că nu rezultă un avantaj net la aprovizionarea cu loturi de 2 000.

Cantitățile de comandă pentru producție

Cantitățile de comandă pentru producție se bazează pe aceleași principii generale ca și cantitățile de comandă pentru aprovizionare pe care le-am analizat și formula stabilită poate fi aplicată. (Costurile de pregătire se referă la pregătirea mașinilor și la costurile de emisie a comenzilor de fabricație și de urmărire a circulației acestor comenzi prin atelier; costurile de stoc sînt cele asociate stocurilor în producția neterminată). Totuși, presupunerea că o comandă primită este plasată dintr-o dată în întregime în stoc este adeseori eronată. Formula de bază presupune modelul general de stoc prezentat în fig. 16.10 a, în care cantitatea de comandă Q este primită în stoc. Stocul scade apoi pe măsura consumului, comenzile care urmează fiind plasate cu suficient timp înainte, astfel încît primirea lor coincide cu stocul minim (zero).

În multe situații, în fabricație, producerea cantității totale de comandă Q se desfășoară de-a lungul unei perioade de timp, piesele fiind acumulate în stoc, nu într-un singur grup mare, ci în cantități mai mici, pe măsură ce producția continuă să se desfășoare. Aceasta se reflectă într-o configurație a stocului similară celei din fig. 16.10 b. Nivelele maxime și medii ale stocului se reduc. Formula cantității de comandă de producție la cost minim devine

$$Q_p = \sqrt{\frac{2Rc_p}{C_H \left(1 - \frac{r}{p}\right)}} \quad (16.6)$$

unde

- r este necesarul sau rata consumului (pe termen scurt, zilnic sau săptămînal)
- p — rata producției (pe aceeași bază de timp ca și pentru r)
- c_p — costul de comandă și pregătire
- C_H — costul pe unitate de stoc
- Q_p — cantitatea de comandă de producție la cost minim
- R — necesar anual

Q_p rezultat este, desigur, mai mare decît cel care ar fi rezultat din formula de bază. Stocul mediu este mai mic pentru un Q_p dat și astfel echilibrarea costurilor de pregătire cu cele de stocuri are loc la o valoare mai mare a cantității de comandă Q_p . Prin împărțirea necesarului anual la Q_p obținem numărul de cicluri de producție pentru o piesă sau produs care vor trebui produse într-un an.

Cicluri de producție pentru mai multe piese sau produse. Problema mai generală nu constă în determinarea lungimii economice a ciclului de fabricație pentru o singură piesă sau produs, ci în stabilirea fluxurilor pentru un întreg grup de produse care își împart utilizarea aceluiași mijloc. Dacă fiecare flux pentru o piesă sau produs este stabilit indepen-

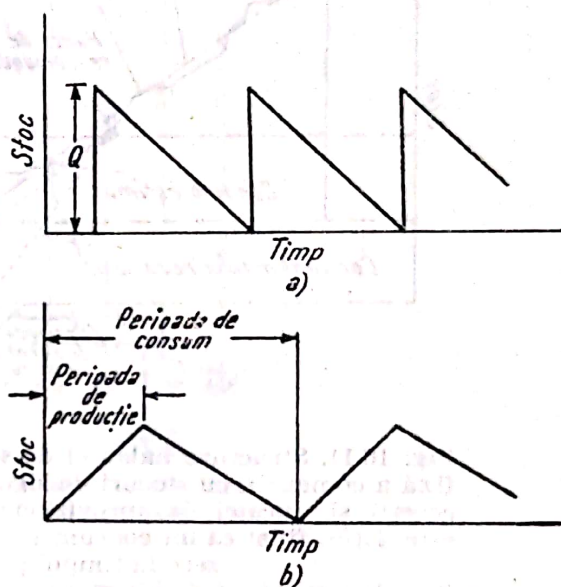


Fig. 16.10. Compararea balanței de stoc : (a) cînd cantitatea comandată, Q , este primită într-un singur transport și (b) cînd Q este primită într-o perioadă de timp, cum se întîmplă în multe situații de producție.

dent, este foarte probabil că vor rezulta anumite conflicte privind necesitățile de echipament, în afară de cazul în care nivelul operațional este sub capacitate și există la dispoziție timp neutilizat al echipamentului. Formal, problema este similară celei cu un produs, dar obiectivul este minimizarea costurilor combinate de pregătire și stocuri pentru întreg grupul (vezi Magee [11]).

Incertitudinea

Pînă în acest moment, am idealizat structura problemei stocurilor, în afara limitelor plauzibile ale realității, cu scopul discutării soluțiilor riguroase pentru mărirea optimă a loturilor. Am presupus o cerere constantă, timpi de avans constanți și indici constanți ai producției. Desigur, nici una dintre aceste presupuneri nu corespunde situației reale. Deși cererea medie poate fi de 2 500 unități pe an, cererea zilnică nu trebuie neapărat să fie reprezentată de $2\,500/250 = 10$ unități pe zi. Astăzi putem să nu

avem comenzi, mâine putem primi comenzi pentru 100 unități, apoi nimic săptămîna următoare și apoi în trei zile consecutive comenzi pentru 20, 50 și respectiv 5 unități. Această distribuție este determinată de cererea clientului cînd ar trebui să-și plaseze comanda. În mod similar, timpii de aprovizionare nu sînt constanți. Onorarea comenzii de către un furnizor poate să dureze mai mult pentru că el însuși se află în gol de stoc, datorită defectării mașinilor, dificultăților cu forța de muncă sau altor diferite

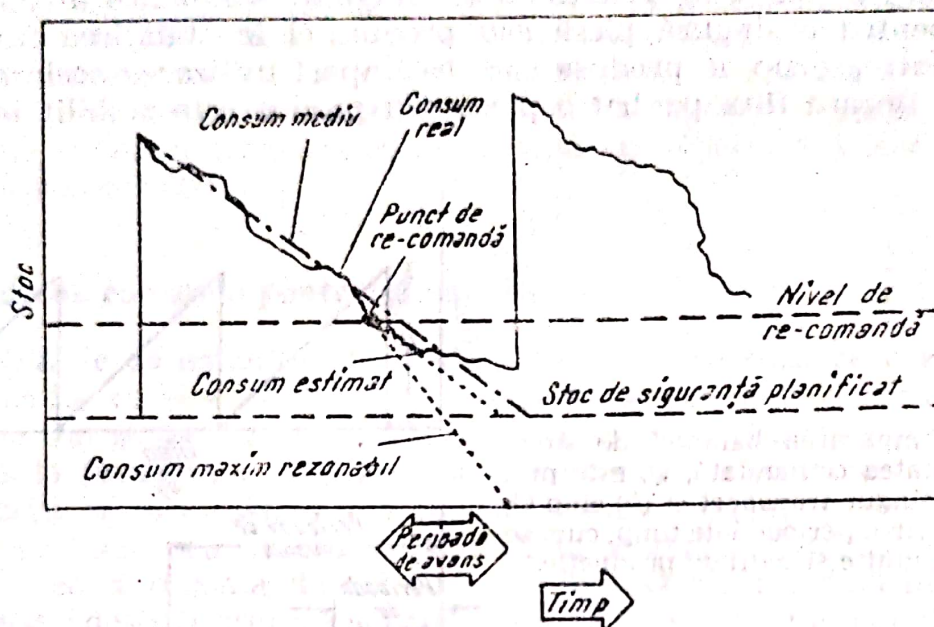


Fig. 16.11. Structura balanței de stoc pentru un sistem cu mărimea fixă a comenzii, cu stocuri de siguranță pentru a absorbi fluctuațiile cererii și duratei de aprovizionare. Nivelul stocului de siguranță este astfel fixat ca un consum maxim rezonabil să aducă nivelul la zero în timpul perioadei de avans.

întîrzieri. Timpul de transport de la furnizor este de asemenea supus incertitudinii. Rezultatul este că practic nici un sistem nu poate depinde de un plan bazat pe structurile balanței de stocuri din fig. 16.8 și 16.10.

Stocuri de siguranță. Variațiile cererii și ale timpului de aprovizionare sînt absorbite în mod obișnuit de existența unor stocuri de siguranță. Mărimea acestor stocuri prevăzute în plus depinde de stabilitatea cererii și aprovizionării, legată de modul cum privim posibilitatea de a rămîne în gol de stoc. Dacă dorim să nu rămînem practic niciodată în gol de stoc, aceste echilibrări planificate minime trebuie să fie foarte mari. Dacă se admit rupturi de stoc și comenzi nesatisfăcute, stocurile de siguranță pot fi moderate. Figura 16.11 prezintă structura generală a balanței de stocuri la un sistem cu cantități de comandă fixe. Nivelul stocului de siguranță este astfel stabilit, încît dacă cererea se va apropia de maxim, balanța stocului va tinde spre zero în perioada dintre aprovizionări.

Determinarea stocurilor de siguranță ne îndreaptă deci spre cunoașterea distribuției cererii pe durata timpului între două aprovizionări, combinată cu decizia privind riscul rupturilor de stoc pe care sîntem dispuși

să-l acceptăm. Acesta este sensul distribuției cererii din fig. 16.12. Consumul lunar mediu aproximativ este de cca. 460 unități (corespunzător cu 50% din fig. 16.12). Dacă timpul între două aprovizionări este de o lună pentru acest articol, și dorim o siguranță de 90% că nu vom avea rupturi de stoc, trebuie să avem în magazie 620 unități în momentul cînd plasăm

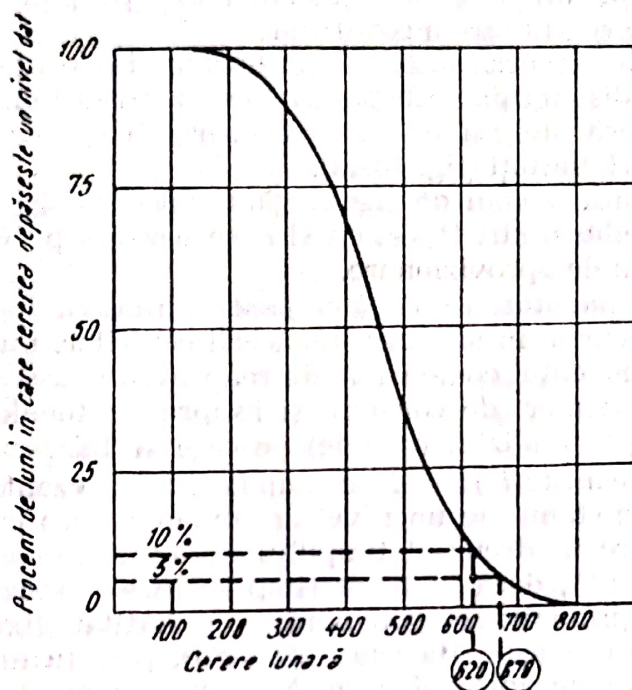


Fig. 16.12. Curbă indicînd procentul de luni în care cererea depășește un nivel dat.

comanda de reprovizionare. Stocul de siguranță este în acest caz $620 - 460 = 160$ unități. Dacă dorim să avem o siguranță de 95% că nu vom avea rupturi de stoc, stocul de siguranță trebuie să fie $670 - 460 = 210$ unități. Este ușor de văzut după forma curbei cererii că, pentru nivele mari de siguranță, stocul de siguranță crește disproporționat și, în consecință, costul de asigurare a acestei protecții se ridică.

Metode practice de stabilire a stocurilor de siguranță. Pentru practică, metodologia generalizată pentru determinarea stocurilor de siguranță, despre care tocmai am discutat, este mult prea greoaie. În loc de a culege date despre fiecare distribuție a cererii ca în fig. 16.12, se fac studii pentru verificarea formei matematice a distribuțiilor care satisfac întreaga clasă de articole. Apoi calculele se simplifică destul de mult, dacă putem justifica presupunerea că distribuția cererii urmează o anumită funcție matematică, cum ar fi distribuția normală, Poisson sau exponențială negativă. S-a găsit că aceste trei distribuții sînt aplicabile în multe situații în diverse etape ale sistemului aprovizionare-producție-desfacere. De exemplu, s-a descoperit că distribuția normală descrie în mod adecvat multe funcții ale cererii la nivelul fabricii, distribuția Poisson la desfacerea cu amănuntul și distribuția exponențială negativă la nivelele cu ridi-

cata și cu amănuntul [4]. Procedura generală este aceeași pentru toate distribuțiile :

1. Se determină care dintre distribuții (normală, Poisson sau exponențială negativă) se aplică la descrierea cererii pe durata timpului de aprovizionare.

2. Se stabilește un nivel de servicii, bazat pe politica de conducere sau pe condiția de echilibrare a costurilor.

3. Se definește cererea maximă pe durata timpului de aprovizionare $D_{max'}$ bazată pe distribuția corespunzătoare și nivelul de serviciu stabilit. Spre exemplu, dacă alegem un nivel de servicii de 95%, atunci cererea maximă este de 670 unități (fig. 16.12).

4. Se calculează stocul de siguranță cerut din $I_{min} = D_{max} - D$, unde D este cererea medie și atât $D_{max'}$, cât și D se bazează pe distribuția cererii pe durata timpului de aprovizionare.

Sisteme fundamentale de control pentru tratarea incertitudinii. Pentru a controla stocurile în scopul satisfacerii cererilor, putem acționa asupra mărimii și frecvenței comenzilor de reprovizionare, asupra frecvenței de revizuire a nivelelor de consum și asupra metodelor de obținere a informațiilor despre realizări (reacție) pe care se bazează revizuirile.

Sistemul cu *cantități fixe de comandă* este prezentat în fig. 16.11. În acest sistem, se stabilește un nivel de comandă care permite ca nivelul stocului să coboare în decursul timpului de aprovizionare până la limita stocului de siguranță, dacă în acest timp se înregistrează cererea medie. Comenzile de reprovizionare sunt plasate în cantități fixe predeterminate (cantitatea economică sau altă cantitate fixă), planificate a fi primite la expirarea timpului de aprovizionare. Nivelul maxim al stocului este dat de cantitatea de comandă Q plus stocul de siguranță I_{min} . Stocul mediu este $I_{min} + Q/2$. Revizuirea ratelor consumului este periodică, cu care ocazie se pot aduce schimbări la cantitatea de comandă și la stocul de siguranță. Cererea pentru un anumit articol este luată în mod obișnuit din operațiile aferente acestuia; de exemplu, dacă articolul ar fi un șurub standard utilizat în mai multe produse finite, departamentele de montaj ar emite cereri pentru acest șurub în concordanță cu nevoile lor de producție. Pentru produsele finite, cererea poate fi în schimb bazată pe comenzile plasate de magazine care, la rândul lor, se pot baza pe comenzile clienților adresate serviciului vânzări. Lanțul cererii, deci, se reflectă înapoi printr-o serie de puncte de stoc, fiecare punct menținând stocuri și plasând comenzi pentru înprospătarea acestora. Sistemele cu cantitate fixă de comandă se aplică de obicei la articole cu valoare scăzută, cum ar fi șuruburi și piulițe, unde nivelul stocului este sub o supraveghere quasi-continuu în așa fel încât se poate semnaliza momentul când s-a atins nivelul pentru o nouă comandă.

Sistemele cu *ciclu de comandă fix* operează prin plasarea comenzilor de reprovizionare la intervale regulate. Mărimea comenzii variază pentru a absorbi variațiile în consum, stocul maxim fiind astfel menținut la un nivel dat. Din nou, revizuirile periodice ale ratei consumului vor stabili nivelele de stoc, determinând în consecință mărimea medie a unei comenzi. Sistemul periodic oferă posibilitatea unui control mai exigent prin reapro-

vizionări mai frecvente, în comparație cu sistemul cu cantități de comandă fixe, cu fiecare comandă de re aprovizionare, el răspunde direct la schimbările în cerere, întrucât el se utilizează frecvent pentru articole cu valori mai mari și acolo unde un număr mare de articole sînt comandate cu regularitate de la o singură sursă. Aceste comenzi pentru mai multe articole pot fi apoi grupate laolaltă în vederea expedierii, pentru a beneficia de avantajele oferite de diferențierea costurilor de transport.

Așa cum din sistemul cu cantități fixe se poate deduce cel cu cantități optime de comandă, din sistemul cu ciclu fix poate rezulta sistemul cu cicluri optime de comandă. Totuși, deoarece un obiectiv principal al sistemelor cu ciclu fix este comandarea pentru toate articolele (sau un grup de articole) odată, în practică nu se calculează ciclurile optime individuale. Ar fi, desigur, indicat, calculul ciclurilor optime pentru articole individuale și clasificarea lor în grupe corespunzătoare. Astfel, un grup ar fi putut fi revăzut săptămînal, altul la două săptămîni, al treilea lunar, etc.

Sistemul cu *stoc de bază* [11] este o împletire a sistemelor cu cantități fixe și cu cicluri fixe de comandă. El folosește un sistem informațional de reacție care stabilește cererea la fiecare punct de stoc direct din informațiile privind comenzile clienților, și nu printr-un lanț de operațiuni și puncte de stoc. În sistemul cu stoc de bază, nivelele stocului sînt revizuite pe o bază periodică, dar comenzile sînt plasate numai cînd stocurile au scăzut la un „nivel de re-comandă” predeterminat. Atunci se plasează o comandă care aduce stocul la „nivelul de bază”, suficient pentru stocul de siguranță plus o cantitate fixă calculată pentru a acoperi necesitățile de consum curente. Revederile periodice ale ratelor consumului curent pot duce la o revizuire în plus sau în minus a nivelului stocului de bază. Sistemul cu stoc de bază are avantajul unui control mai strîns, asociat cu sistemul cu cicluri de comandă fixe care face posibilă menținerea unui stoc tampon minim. Pe de altă parte, comenzile de re aprovizionare fiind plasate numai cînd s-a atins punctul de comandă, se plasează, în medie, mai puține comenzi, astfel încît costurile de achiziție sînt comparabile cu cele asociate sistemelor cu cantități fixe.

Diferența față de sistemele informaționale cu reacție este ilustrată în fig. 16.13. Dezavantajul fluxului informațional în lanț arătat în fig. 16.13 a este acela că, deși comenzile efective ale clienților pot apărea frecvent în cantități mici, comenzile de re aprovizionare prin operarea în lanț, devin mai mari și mai puțin frecvente. Ca urmare, *variabilitatea* cererii la punctul de stoc 1 este amplificată în momentul reflectării sale la punctul de stoc 3, rezultînd o creștere a stocului de siguranță pentru prevenirea rupturilor de stoc. (Observați în fig. 16.12 efectul variabilității crescute a distribuției cererii, în stocul de siguranță necesar pentru un anumit nivel de serviciu). Conform schemei generale din fig. 16.13 b, fiecare legătură din lanțul de producție acționează împotriva cererii efective a clientului, așa că nu are loc o amplificare a *variabilității* cererii. Din moment ce toate punctele de stoc acționează contrar cererii efective a clientului, nemaiapărînd amplificarea variabilității cererii, stocurile tampon pot fi reduse și mai mult, pentru că nu se ating nivelele extreme ale cererii maxime. În

plus, apare o reducere a cheltuielilor legate de fluctuațiile producției (angajări, detașări, și instruire), intrucit mărimea fluctuațiilor producției se asociază de asemenea cu sistemul informațional al reacției utilizat.

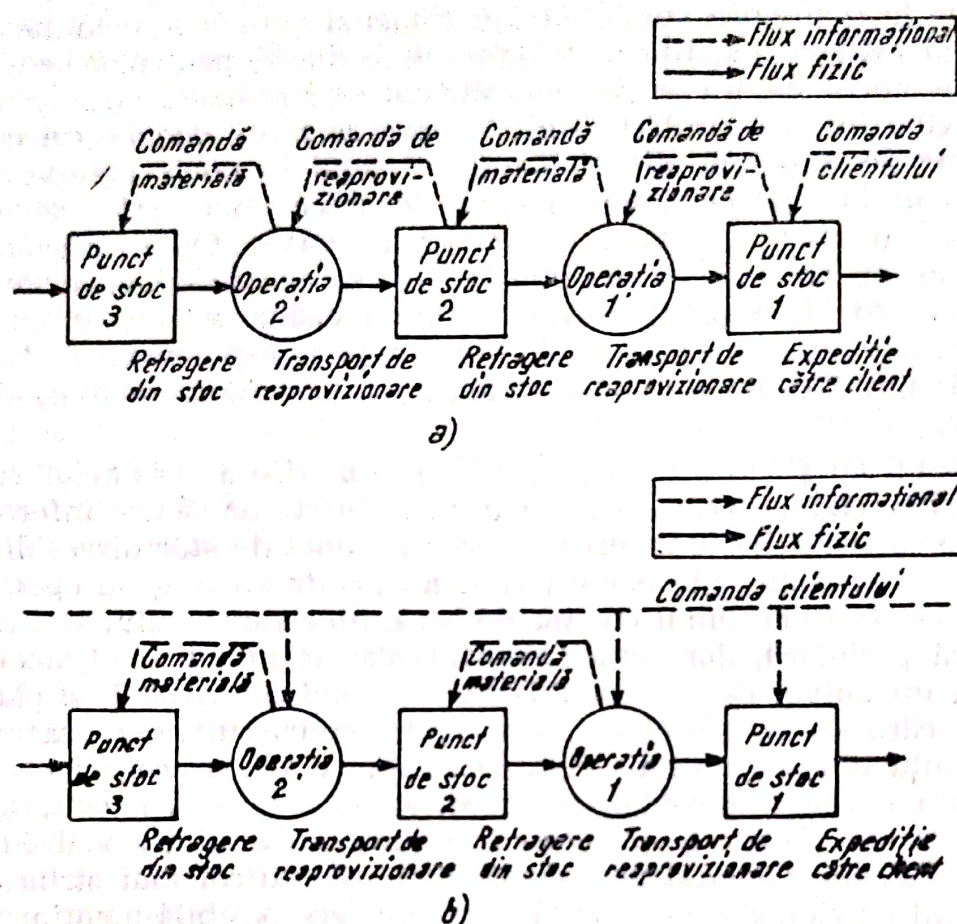


Fig. 16.13. Două sisteme informaționale cu reacție pentru sistemele de control al stocării (cu permisiunea autorilor, după [11, p. 89]).

Rezumat

Am discutat despre controlul stocurilor, privindu-le independent de sistemul de producție, stabilind criterii sau măsuri ale eficienței care nu reflectă efectul stocurilor asupra programelor de producție și asupra controlului nivelelor generale ale producției. Această independență este nereală, pentru că există interacțiuni între aceste probleme. Politica de stocuri trebuie să fie pusă de acord cu programarea, pentru a rezulta un cost minim COMBINAT al operațiunii, și nu un minim pentru stocuri luate ca atare. Existența de stocuri mai mari poate face posibilă reducerea costurilor de angajare, instruire și concediere, ca și o reducere a investițiilor în mijloace fixe. Uneori poate fi rentabilă utilizarea muncii suplimentare cu nivele mai mari ale salariilor, în locul constituirii de stocuri, pen-

tru a satisface cererea. În capitolul următor, care tratează programele principale de planificarea și controlul producției și al nivelului forței de muncă, vom încerca să corelăm aceste probleme.

Întrebări recapitulative

1. Prin ce se deosebesc planurile de producție de proiectarea sistemelor de producție ?

2. Care este deosebirea între stocurile în tranzit, de ciclu, de siguranță și sezoniere ?

Care din aceste tipuri de stocuri pot fi numite stocuri „pe conductă” ?

3. Discutați funcțiunea de „decuplare” a stocurilor.

4. În ce fel pot servi stocurile la reducerea costurilor ? Dar la mărirea lor ?

5. Ce este un orizont de timp în planificare ?

6. Ce componente ale cererii sînt implicate într-o previziune ?

7. De ce reduc mediile mobile efectele aleatorii ?

8. Comparați rezultatele previziunilor cu media mobilă simplă cu cele ale previziunilor cu medie mobilă exponențială.

9. Explicați de ce media mobilă exponențială conține efecte ale tuturor cererilor efective din trecut.

10. Arătați ce rațiune are modul de obținere a formulei cantității de aprovizionat la cost minim.

11. Referitor la această formulă, de ce curba costului variabil total are un punct de minim ?

12. Dacă avem în vedere deciziile privind mărirea lotului de producție în locul deciziilor referitoare la cantitățile de aprovizionat, ce factori intră în formulă ? Poate fi utilizată aceeași formulă dacă lotul de producție intră dintr-odată în întregime în stoc ?

13. Ce tip de analiză se cere pentru a lua în considerare rabaturile de cantitate în determinarea mărimii optime a comenzii ?

14. Cînd producția unui lot are loc pe o perioadă de timp, ce modificări au loc în modelul stocului și în formularea mărimii economice a lotului ? Este mărirea economică a lotului mai mare sau mai mică decît aceea care ar fi rezultat din formula obișnuită ? De ce ?

15. Care este problema generală a fabricării mai multor piese sau produse ? Ce se poate întîmpla dacă fabricația fiecărui produs s-ar stabili independent ? În ce condiții pot fi aceste fabricații determinate independent ?

16. În ce mod țin seama sistemele de conducere a stocurilor de incertitudinile în cerere, timp de aprovizionare, rate ale producției etc. ?

17. Cum poate fi determinată mărirea stocului de siguranță într-un mod rațional ? De ce să nu urmărim o politică conform căreia niciodată să nu avem rupturi de stoc ?

18. Stabiliți diferențele dintre cele trei sisteme fundamentale de control pentru rezolvarea problemelor de incertitudine. În ce condiții pot fi ele utilizate ?

19. Ce deosebiri se produc într-un sistem de control al stocurilor prin introducerea unei reacții informaționale inverse ?

PROBLEME

1. Dându-se mai jos istoricul pe 5 ani al cererii lunare pentru un produs se cere :

	1965	1966	1967	1968	1969
Ian.	47	22	41	68	82
Feb.	42	44	28	52	62
Mar.	16	42	53	77	63
Apr.	47	29	48	55	64
Mai	38	46	64	52	44
Iunie	34	45	54	58	71
Iulie	45	56	39	41	71
Aug.	50	50	50	62	45
Sept.	47	39	39	59	81
Oct.	54	44	48	37	77
Nov.	40	24	54	73	86
Dec.	43	46	28	65	69

- Să se calculeze o medie mobilă previzională de trei luni
- Să se calculeze o previziune ponderată exponențial utilizând ecuația 2 și $\alpha=0,1$
- Să se calculeze o previziune ponderată exponențial care ia în considerare efectele de tendință cu $\alpha=0,1$
- Să se reprezinte grafic datele cererii și cele trei previziuni și să se compare rezultatele.

2. Dându-se următoarele date, calculați cantitatea de comandă cu cost minim :

Necesar anual, unități	5 200
Costul scrierii și pregătirii comenzii	9 \$
Costul anual de depozitare pe unitate	0,03 \$
Producția săptămînală	200 unități
Cererea săptămînală	100 unități
Cost unitar de producție	10 \$

3. O întreprindere cumpără 30.000 de piese pe an la un preț unitar de 10 \$. Dacă prelucrarea unei comenzi de aprovizionare costă 20 \$, iar dobînda și cheltuielile de depozitare totalizează 20%, care este cantitatea optimă aproximativă de comandă ?

4. Întreprinderea de produse metalice (StaMPCo) a primit recent o comandă de la un producător de pompe de apă pentru automobile pentru 500.000 de fulii cu curea în V. Specificațiile și alte detalii se dau în fig. 11.24 din cap. 11. Deși întreprinderea are comandă, apreciază că este mai bine să transfere fabricarea pivotului fuliei unui atelier mecanic, datorită toleranțelor foarte mici cerute de client. Atelierul va face pivoții, în timp ce StaMPCo va produce flanșele, va asambla fuliile, le va trata împotriva coroziunii și va expedia produsul finit.

Nivelul producției a fost stabilit la 28.500 fulii bune pe lună. Fiecare lună are în medie 20 de zile lucrătoare.

Datorită strinsei coordonări între cele două firme, cerută de îndeplinirea în bune condiții a contractului lui StaMPCo ați fost angajat consultant pentru a soluționa problema stocurilor. Cercetările Dvs. au produs următoarele informații:

a) În mod normal, este nevoie de trei zile de la data inițierii unei cereri de aprovizionare, până când comanda este expediată prin poștă.
b) Circulația prin poștă până la întreprinderea furnizoare de oțel durează o zi.
c) Furnizorul de oțel are nevoie de două zile lucrătoare pentru a prelucra comanda.

d) Timpul de livrare, după ce comanda a fost prelucrată de furnizor este, în condiții normale, de cinci zile.

e) Procentul mediu de refuzuri pentru fulii de slabă calitate este de 5%.

f) Date materiale: (1) Stocul de bare pentru fabricarea pivoților de 1 inch * lungime, este format din bare cu diametrul de 7/8 inch și o lungime de 11 picioare 9 inch. Scula pentru tăierea pivoților din bară este lată de 1/8 inch și produce o pierdere egală de span pentru fiecare pivot. Pe lângă acesta, după ce a fost tăiat ultimul pivot, rămâne un capăt de 6 inch pentru fiecare bară. (2) Foaia de oțel pentru flanșe vine în role de 245 picioare ** și are o lățime de 3 1/4 inch și o grosime de 0,050 inch. Distanța între centrele flanșelor la operația de trasare este de 3 1/4 inch. La sfârșitul fiecărei role, rămân aproximativ 15 inch în mecanismul automat de alimentare.

1) Determinați cantitatea totală de material (bare și role) necesare producției pentru o lună (rotunjiți în plus la număr întreg).

2) La câte zile lucrătoare după ce s-a făcut solicitarea materialului, se poate aștepta livrarea sa conform procedurii de aprovizionare obișnuite?

3) Dacă pentru toate materiile prime trebuie menținut un stoc minim de 15 zile pentru a preveni întreruperile în producție datorate cauzelor externe, care este cantitatea de rezervă și punctul de comandă pentru folie de oțel (în role)? Faceți și un grafic.

5. Clientul dumneavoastră este interesat în aplicarea conceptului de „mărime economică a lotului” în aprovizionarea cu materii prime. El v-a furnizat următoarele informații suplimentare:

a) Costul de procurare (cheltuielile serviciului aprovizionare, recepția etc.) pentru 1500 articole a fost anul trecut de 12.555 \$.

b) Oțelul fiind singura materie primă folosită în procesul de fabricație, se presupune că toate stocurile au aceeași valoare, în vrac sau la greutate. Costurile totale de depozitare (salariile personalului de la magazie, spațiul de depozitare, impozite și asigurări pentru stoc etc.) au fost anul trecut de 7650 \$ la un stoc mediu de materii prime evaluat la 45.000 \$.

c) Evaluarea stocurilor se face prin aplicarea prețului de 12 \$ pe rolă.

d) Beneficiul companiei este în medie 10% la capitalul investit.

1) Să se calculeze: (1) Prețul unitar de prelucrare a unei comenzi de aprovizionare, și (2) costul de depozitare ca procent din valoarea stocului mediu de materii prime.

2) Să se completeze următorul tabel, folosind datele problemei:

Cantitatea de comandă. Nr. role	Stoc minim	Stoc mediu	Preț de catalog pe rolă	Valoarea medie a stocului (preț catalog)
10			12 \$	
25			12 \$	
50			12 \$	
75			12 \$	
100			12 \$	
200			12 \$	

*1 inch=25,4 mm.

** 1 picior=304,8 mm.

6. Furnizorul de oțel al întreprinderii are următorul sistem de reducere de preț la rolele de 245 picioare, lățime 3¼ inch și grosime 0,050 inch.

Nr. role comandate	Preț pe rolă
0—24	12 \$
25—74	11,95 \$
75—199	11,90 \$
200 și peste	11,875 \$

Completați următorul tabel (pe bază anuală) :

Loturi de	10	25	50	75	100	200
— Preț de cumpărare pentru aprovizionare cu role pe un an						
— Cheltuieli de achiziție						
— Total costuri de aprovizionare						
— Costuri de depozitare						
— Costuri de capital						
— Total costuri pe an						

Care este cantitatea optimă de aprovizionat pe comandă ?

7. Reprezentați grafic costurile totale de aprovizionare din tabelul de la problema 6. Reprezentați de asemenea costul total (aprovizionare plus depozitare etc.) cu datele din același tabel.

8. Utilizând formula mărimei economice a lotului, determinați numărul, optim de role pe comandă.

9. Corespunde răspunsul la problema 8 cu cel determinat în problema 7 ? Dacă nu, cum explicați deosebirea ?

10. Din graficul de la problema 6, care ar fi costul aproximativ anual, utilizând cantitatea de comandă obținută ? Care este semnificația diferenței între această valoare și costul anual obținut, utilizând cantitatea economică de comandă din problema 8 ?

11. StaMPCo dorește să aplice principiile de control al stocurilor referitoare la mărimile loturilor de fabricație pentru obținerea de economii în producție. Vi se cere să stabiliți mărimea economică a loturilor. Se dau următoarele informații privind producția de fulii de 3 inch cu curea în V.

Producția : 28.500 unități bune pe lună

Costuri de pregătire :

Mașina	Nr. mașini necesare	Costuri/mașină
Strung revolver	3	4,00 \$
Presă de ștanțat	1	2,50 \$
Mașină de găurit	1	neglijabil
Mașină debitat	1	1,00 \$
Aparat sudură mic	1	0,50 \$
Aparat sudură mare	1	0,50 \$
Polizor	1	neglijabil

Cheltuieli salariale directe : 24.375 \$ pe an

Cheltuieli materiale :

— Bare rotunde (120 pivoti/bară),	\$ 13,30/bară
— Foi de oțel (900 flanșe/rolă)	23,75/rolă
— Set șuruburi	0,01/set
— Placare cu cadmiu	0,05/unit.

Cheltuieli generale fixe : 26.000 \$ pe an (sumă aferentă producției de fulii)

Cheltuieli generale variabile : 0,45 \$ pe dolar salarii directe.

Compania obține un beneficiu mediu de 10% la capitolul investit.

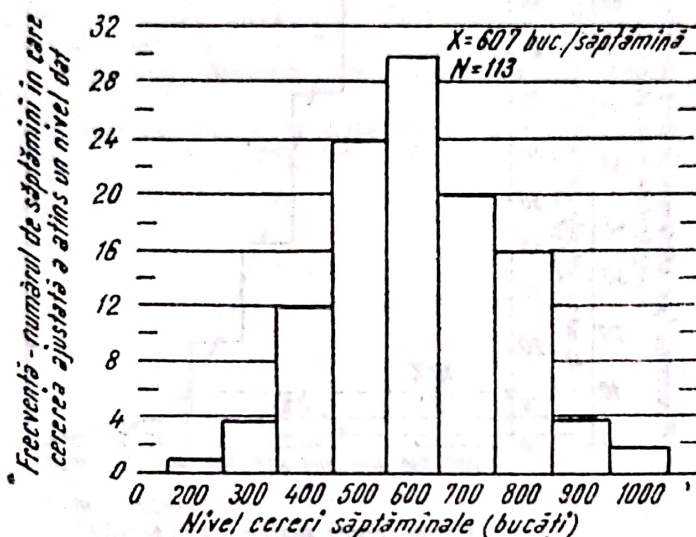


Fig. 16.14. Reprezentarea variației aleatoare estimate a vânzărilor săptămânale, excluzând variațiile sezoniere și de tendință.

Să se determine pentru fuliile de 3 inch cu curea în V :

- numărul de unități pe an
- costul pregătirii pe ciclu de producție
- salariile directe pe unitate
- costurile materiale directe pe unitate
- costurile generale pe unitate
- cantitatea economică a lotului pe ciclu
- numărul de loturi ce trebuie produse pe an.

12. Cât de exactă trebuie să fie determinarea mărimii economice a lotului de producție ?

13. De ce formula mărimii economice a lotului de producție nu soluționează exact problema în practică ?

14. O altă categorie de stocuri sînt stocurile de producție neterminată. Este important ca aceste stocuri să fie astfel manevrate, încît să rezulte costuri scăzute. Presupunînd timpul de producție în loturi pe comandă, „mărimea economică a lotului” este similară cu „cantitatea economică de comandă” la stocurile de materiale și piese.

(a) Ce factor de cost asociat cu fabricarea unui lot este analog cu costul de aprovizionare al materialelor ?

(b) Ce factor de cost asociat cu fabricarea unui lot este analog cu prețul de catalog de aprovizionare ?

(c) Ce costuri trebuie echilibrate în formula mărimii economice a lotului de producție ?

15. Cererea săptămînală pentru un produs, care nu este supus influenței factorilor sezonieri și de tendință, este reprezentată de distribuția empirică reprodusă în fig. 16.14 și 16.15. Ce stoc de siguranță sau tampon ar fi necesar pentru acest articol, pentru a avea siguranța că nu vor apare rupturi de stoc în proporție mai mare de 15%? 5%? 1%? (Timpul de aprovizionare normal este de o săptămîină).

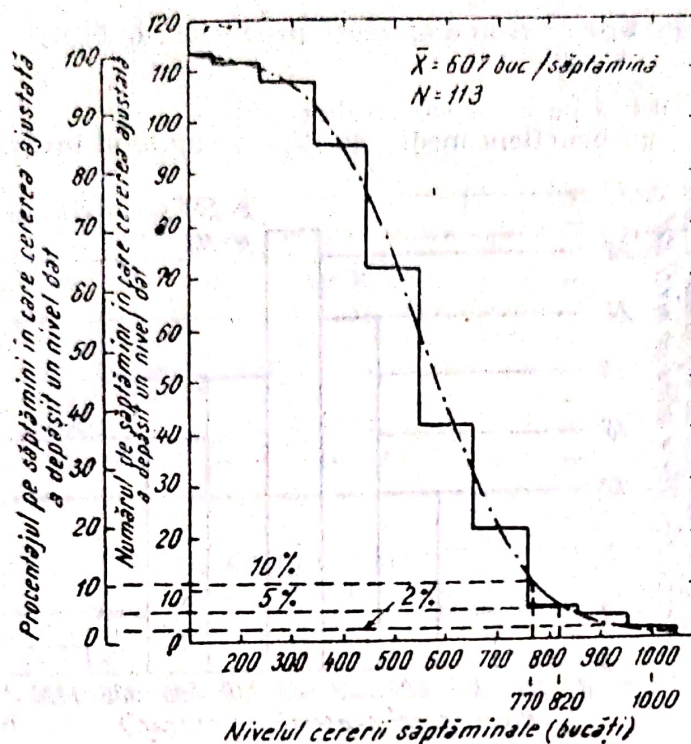


Fig. 16.15. Distribuția procentului de săptămîni în care cererea a depășit un anumit nivel, obținută din fig. 16.14.

16. Dacă produsul pentru care s-au dat datele în problema 15 are o valoare unitară de 50\$, costuri contingente de 10\$ fiecare și un cost de depozitare anual de 25% din valoarea medie a stocului, care din cele trei nivele de serviciu va fi cel mai indicat?

Bibliografie

- [1] Brown, R. G. *Decision Rules for Inventory Management*. Holt, Rinehart, Winston, New York, 1967.
- [2] Brown, R. G. *Smoothing, Forecasting and Prediction*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [3] Brown, R. G. *Statistical Forecasting for Inventory Control*. McGraw-Hill, New York, 1959.
- [4] Buchan, J. și E. Koenigsberg. *Scientific Inventory Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [5] Buffa, E. S. *Operations Management: Problems and Models* (2nd ed.). John Wiley, New York, 1968.
- [6] Buffa, E. S. *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1968.

- [7] Churchman, C. W., R. L. Ackoff, și E. Arnoff. *Introduction to Operations Research*. John Wiley, New York, 1957.
- [8] Fetter, R. B. și W. C. Dalleck. *Decision Models for Inventory Management*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1961.
- [9] Hadley, G. și T. M. Whitin. *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [10] Harris, F. *Operations and Cost* (Factory Management Series). A. W. Shaw, Chicago, 1915, pp. 48—52.
- [11] Magee, J. F. și D. M. Boodman, *Production Planning and Inventory Control* (ed. II-a) McGraw-Hill, New York, 1967.
- [12] Raymond, F. E. *Quantity and Economy in Manufacture*. D. Van Nostrand, Princeton, N. J., 1931.
- [13] Starr, M. K. și B. W. Miller. *Inventory Control: Theory and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1962.
- [14] Wagner, H. M. *Statistical Management of Inventory Systems*. John Wiley, New York, 1962.
- [15] Winters, P. R. „Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages.“ *Management Science*, 6 (3), 324—342, Apr. 1960.

Planuri și programe agregate

Cei mai mulți conducători doresc să planifice și să controleze operațiunile la nivelul cel mai general, printr-un fel de planificare agregată care ocolește detaliile privind fiecare produs, ca și programarea detaliată a mijloacelor și oamenilor. Conducerea s-ar ocupa mai curînd de deciziile relevante de bază, legate de programarea utilizării resurselor prin revederea forței de muncă proiectate și a nivelelor de subcontractare și prin stabilirea unor volume de producție ce pot fi manevrate în cadrul unui nivel dat al forței de muncă prin variația timpului de lucru (ore suplimentare sau timp nefolosit). Odată ce s-au luat aceste decizii majore privind perioada următoare din cadrul orizontului de timp, se poate executa programarea de detaliu la nivele inferioare, în limitele impuse de planul general. În final, trebuie făcute schimbările de ultim moment în nivelul producției, analizînd efectele lor posibile asupra cheltuielilor și asupra costurilor stocurilor.

Ceea ce este necesar în primul rînd pentru planurile agregate este determinarea unei unități logice generale de măsurare a vânzărilor și a producției, de exemplu, galoane* în industria vopselelor, cutii (reprezentînd o cantitate egală indiferent de felul ambalajului) în industria berii, sau ore-mașină echivalente în unele întreprinderi prelucrătoare. În al doilea rînd, conducerea trebuie să fie în măsură să facă previziuni pentru o perioadă rezonabilă de plan, de obicei un an, în ideea acestei agregări.

În sfîrșit, conducerea trebuie să fie capabilă să izoleze și măsoare costurile semnificative pe care le vom discuta în acest capitol și, în funcție de metodele utilizate, să reconstituie aceste costuri sub forma unui model care va permite decizii aproape optime pentru succesiunea de perioade de plan din orizontul de planificare.

Trebuie reținut caracterul secvențial al deciziilor; o decizie asupra nivelului forței de muncă și volumului producției pentru o perioadă viitoare nu poate fi calificată ca bună sau rea, corectă sau greșită. Se vor lua de asemenea decizii pe două perioade înainte, pe baza celor luate acum și a noilor informații privind evoluția efectivă a vânzărilor și a previziunilor din cadrul orizontului de planificare. Rezultă că orice decizie este corectă sau greșită numai în contextul deciziilor succesive de-a lungul unei perioade de timp.

* 1 galon = 4,545 l.

Cele mai multe dintre problemele discutate se referă la sisteme care produc articole pe stoc, unde existența stocurilor de produse finite face posibilă existența unui cost datorită schimbării nivelului de forță de muncă. Spre sfârșitul acestui capitol vom discuta și planificarea agregată pentru articole produse pe contract.

Pentru a situa discuția noastră în contextul temei, să privim diversele planuri pentru producție în funcție de orizontul lor de timp. Figura 17.1 prezintă aceste planuri pe cinci coloane. Implementarea planurilor prezente în orizontul de timp cel mai scurt se face ținând seama de limitările planurilor agregate deja existente — și va constitui subiectul cap. 18. Planurile pe termene medii și lungi prezente în fig. 17.1 se încadrează în planificarea strategiei generale a întreprinderii. Planurile și deciziile referitoare la perioada următoare și la cele din viitorul apropiat constituie deci ceea ce noi numim planificare și programare agregată.

Natura planificării agregate

Planificarea agregată face să crească numărul de variante pentru utilizarea capacității care trebuie luate în considerare de către conducere. Termenul „planificare agregată” include programarea, adică o repartizare în timp a sarcinilor; termenii „planificare agregată” și „planificare și programare agregată” sînt utilizați aproape cu același sens. Semnificația economică a acestor concepte nu este cîtuși de puțin minoră. Ele ridică unele întrebări de bază cum ar fi: În ce măsură ar trebui folosite stocurile pentru absorbirea fluctuațiilor cererii care vor apare în următoarele șase—douăsprezece luni? De ce să nu se absoarbă aceste fluctuații prin simpla variație în mărimea forței de muncă? De ce să nu se mențină o mărime relativ stabilă a forței de muncă și să se absoarbă fluctuațiile prin schimbări în volumul producției prin modificarea duratei lucrului? De ce să nu se mențină o forță de muncă și un volum de producție relativ stabile și să lase subcontractanții să se lupte cu problema fluctuației nivelului comenziilor? Ar trebui firma să accepte deliberat nesatisfacerea în întregime a cererii? În cele mai multe cazuri este probabil adevărat că nici una din aceste strategii luate izolat nu ar fi la fel de eficientă, ca o strategie combinată, care le-ar echilibra. Fiecare strategie are asociate niște costuri și prin urmare noi căutăm o combinație potrivită a variantelor posibile.

Dacă se folosesc stocurile pentru absorbirea variațiilor sezoniere ale cererii, costurile de capital și de învechire, precum și costurile legate de depozitare, asigurare și manipulare, tind să crească. În afara problemei factorilor sezonieri, utilizarea stocurilor pentru absorbirea fluctuațiilor pe termen scurt implică o creștere a aceluiași costuri în comparație cu un nivel ideal sau minim al stocurilor, necesar desfășurării procesului de producție. Cînd stocurile scad sub acest nivel ideal sau minim, costurile contingente (generate de lipsa materialelor) și toate costurile legate de programarea pe termen scurt, cresc. Schimbările în mărimea forței de muncă afectează costul total al utilizării muncii. Cînd se angajează noi muncitori,

apar cheltuieli de selectare, instruire și reducerea productivității. Schimbări mari în mărimea forței de muncă pot însemna adăugarea sau eliminarea unui schimb întreg; costurile variabile implicate sînt sporul de schimb ca și costurile de supraveghere și alte cheltuieli generale. Dacă

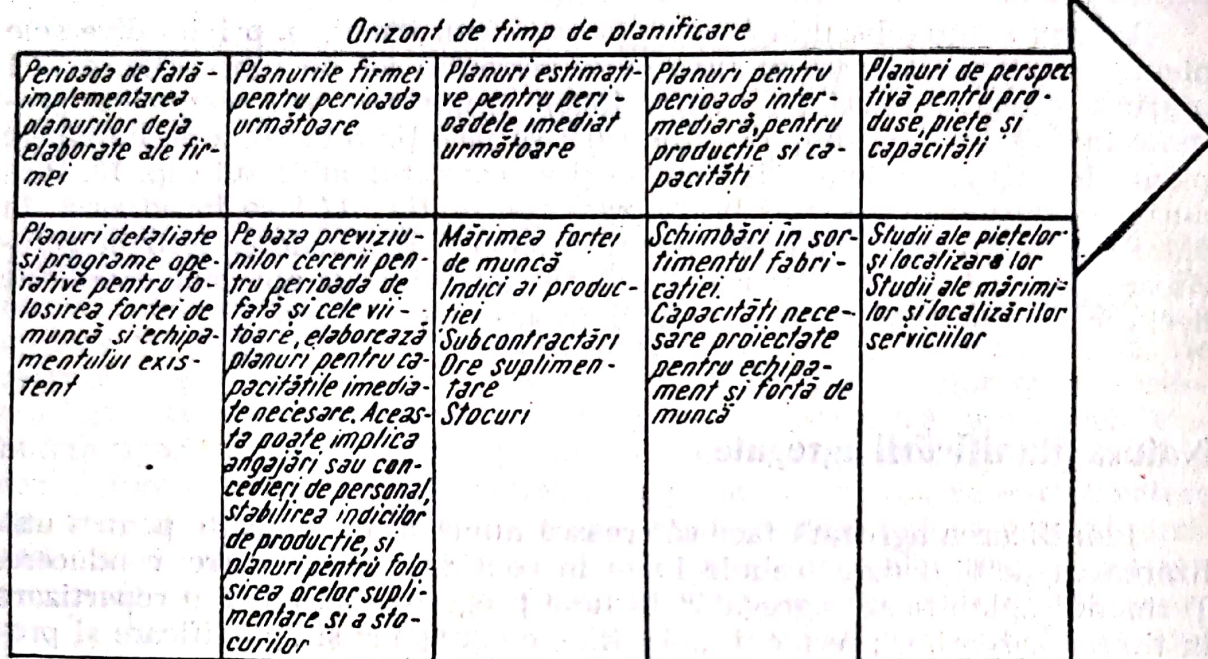


Fig. 17.1. Relațiile dintre planurile pentru diferite orizonturi de timp.

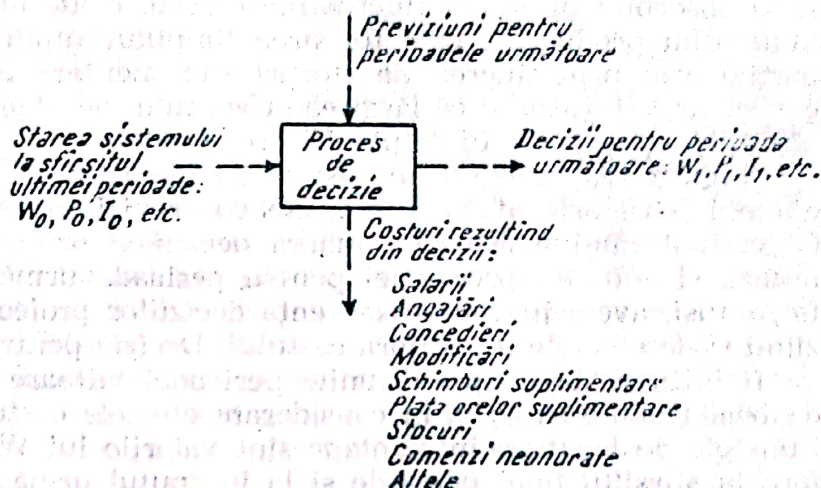
fluctuațiile sînt absorbite prin schimbarea volumului producției, atunci vor fi absorbite și cheltuielile pentru ore suplimentare, în cazul creșterii producției, ca și cheltuielile probabile cu golurile de muncă (cheltuieli cu salarii directe mai mari pe unitate) în cazul descreșterii producției. Totuși, de cele mai multe ori, conducătorii încearcă să mențină aceleași cheltuieli medii cu salariile, prin reducerea orelor lucrate, undeva sub nivelul normal. Cînd programele cu utilizare parțială a timpului se mențin, costul utilizării muncii și cheltuielile aferente sînt de așteptat să crească. Multe costuri afectate de deciziile de planificare și programare agregată sînt dificil de măsurat și nu sînt izolate în evidențele contabile. Unele, cum ar fi costurile dobînzilor la investițiile în stocuri, constituie în același timp o măsură a oportunității diferitelor variante. Alte costuri, cum sînt cele asociate cu relațiile publice și opinia publică nu sînt măsurabile direct. Totuși, toate aceste costuri sînt reale și își pun amprenta asupra deciziilor de planificare agregată.

Structura problemei

Cea mai simplă structură a problemei planificării agregate este reprezentată de sistemul într-o singură etapă descris în fig. 17.2. Orizontul de planificare este de numai o perioadă viitoare; de aceea, numim fig. 17.2

un sistem într-o singură etapă. Starea sistemului la sfârșitul ultimei perioade este definită de mărimea forței de muncă (W_0), volumul producției (P_0) și nivelul stocurilor (I_0). Dispunem de o previziune a necesarului pentru perioada următoare; printr-un proces oarecare de decizie, se iau decizii care stabilesc mărimea forței de muncă și volumul producției pen-

Fig. 17.2. Sistem decizional de planificare agregată într-o singură etapă (cu orizont de plan de o perioadă), W =mărimea forței de muncă, P =nivelul producției și I =nivelul stocurilor.



tru perioada următoare. Stocul final proiectat I_1 este determinat apoi ca rezultat al sumei stocului raportat din perioada precedentă și a producției în timpul perioadei, din care se scad vânzările previzionale în decursul perioadei; adică $I_1 = I_0 + P_1 - F_1$ unde F_1 sînt vânzările previzionale. Decizia luată poate cere angajarea sau concedierea de personal, aceasta extinzînd sau restrîngînd capacitatea efectivă a sistemului de producție. Mărimea forței de muncă, împreună cu decizia asupra nivelului producției în decursul perioadei, determină cantitatea necesară de timp suplimentar, nivelul stocului sau al comenzilor neonorate, indiferent dacă trebuie sau nu adăugat sau eliminat un schimb, sau dacă sînt în procedura operativă alte schimbări posibile. Costurile comparative care rezultă din deciziile posibile asupra mărimii forței de muncă și a volumului producției sînt desigur, de mare interes în aprecierea eficienței deciziilor luate și a procesului de decizie utilizat. Costul comparativ al unei secvențe de astfel de decizii alternative este, de asemenea, interesant în aprecierea aplicabilității modelului într-o singură etapă.

Să presupunem că luăm o secvență de decizii conform structurii modelului într-o singură etapă din fig. 17.2. Să presupunem de asemenea că previziunile pentru fiecare perioadă dintre primele patru sînt în descreștere progresivă. Procesul nostru de decizie răspunde prin diminuarea, într-o anumite combinație, atât a mărimii forței de muncă, cît și a volumului producției, implicînd costuri legate de concedieri și de schimbări în producție. Apoi, pentru perioadele 5—10, previziunile pe perioadă cresc progresiv, cerînd astfel decizii de angajare de personal și de creștere a producției, implicînd costuri legate de angajări și de noi schimbări în producție. Orizontul de planificare pe o singură perioadă a făcut ca fiecare decizie independentă să pară logică în sine, dar a dus la concedierea de

personal într-o primă instanță, pentru a-i angaja la loc ulterior, producând cheltuieli în ambele situații, plus cheltuielile datorate schimbărilor în volumul producției. Dacă am fi fost în măsură să privim înainte pe mai multe perioade, cu un proces corespunzător de decizie, am fi putut decide să stabilizăm mărimea forței de muncă, cel puțin într-o oarecare măsură, și să absorbim în alt fel fluctuațiile cererii, poate numai prin schimbarea volumului producției, prin folosirea timpului suplimentar și al timpului parțial, sau prin ținerea de stocuri suplimentare pe timpul descreșterii curbei cererii. Rezultă că lărgirea orizontului de planificare poate îmbunătăți eficiența sistemului de planificare agregată.

Figura 17.3 prezintă un sistem de planificare agregată în mai multe etape, în care orizontul a fost extins cu previziuni pentru fiecare perioadă. Obiectivul rămâne același: luarea deciziilor privind mărimea forței de muncă și volumul producției pentru perioada următoare. Procedând astfel, totuși, avem în vedere secvența deciziilor proiectate, legate de previziuni și de efectele lor asupra costului. Decizia pentru perioada următoare va fi influențată de previziunile perioadei viitoare și în procesul luării deciziei trebuie să se ia în considerare efectele costului întregii secvențe. Punctele de legătură între etape sînt valorile lui W , P și I , care sînt de fapt la sfîrșitul unei perioade și la începutul următoarei. Bucla de reacție inversă din fiecare etapă de la operația „proces de luare a deciziei” arată că el poate implica unele prelucrări iterative sau de eliminare a erorilor prin încercări succesive în vederea obținerii unei soluții.

Procesele de decizie pentru planificarea agregată

Fiind dată formularea generală a problemei prin structura din fig. 17.3, sîntem acum interesați în procesele de luare a deciziei. Care sînt modalitățile utilizate și propuse spre utilizare? Ele se pot clasifica

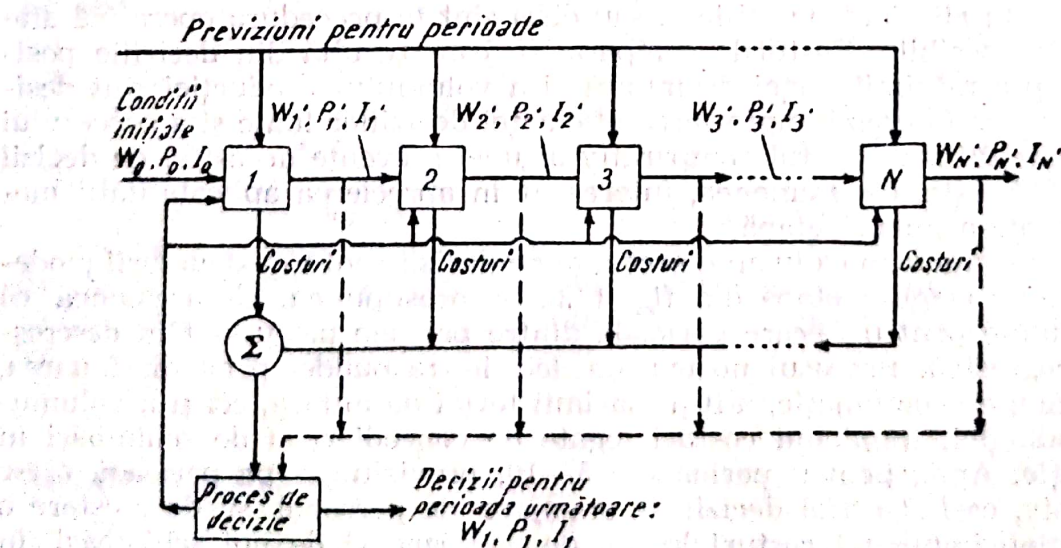


Fig. 17.3. Sistem decizional de planificare agregată cu mai multe etape, cu orizont de plan de N perioade.

în mai multe tipuri, ca : metode grafice, metode matematice, metode euristice și metode de căutare cu ajutorul calculatorului electronic. Le putem clasifica în continuare ca modele statice sau dinamice și de asemenea ca modele într-o singură etapă sau în mai multe etape.

Metode grafice

Tabelul 17.1 prezintă o previziune estimată a necesităților de producție pentru un produs, împreună cu stocurile de siguranță necesare pentru fiecare lună. Numărul de zile disponibile pentru producție în fiecare lună arată că, deși oscilația sezonieră a necesarului lunar se așteaptă să fie $13.000/3.000=4,33$ (vîrf în septembrie —13.000, minim în martie 3.000), nivelele cerute ale producției pentru respectarea structurii vânzărilor ar urma să fie mult mai mari, deoarece uzina își întrerupe activitatea pe timp de două săptămîni în iulie datorită concediilor. Oscilația rezultantă a necesarului pe zi de producție este de la 143 unități pe zi în martie la 917 unități pe zi în iulie, sau un indice de $917/143=6,41$. Linia punctată din fig. 17.4 reprezintă necesarul estimat luat ca producție pe zi lucrătoare, cu un vîrf apărînd în iulie în loc de septembrie, datorită disponibilităților de timp de producție.

Capacitatea de producție normală este de 500 unități pe zi, putînd fi produse pînă la 600 unități pe zi prin apelarea la timp suplimentar, cu un cost suplimentar de 10\$ pe unitate. Pentru a depăși limita de 600 unități/zi, este necesară subcontractarea, care costă suplimentar 15 \$ pe unitate, în comparație cu producția normală în cadrul uzinei.

Tabelul 17.1. Previziuni asupra vânzărilor și stocurilor de siguranță

Lunile	Cerințe așteptate de producție	Stocuri de lucru	Zile de lucru	Zile de lucru cumulate
Ianuarie	6 000	3,000	22	22
Februarie	4 000	2,500	19	41
Martie	3 000	2,100	21	62
Aprilie	4 000	2,500	21	83
Mai	6 000	3,000	22	105
Iunie	9 000	3,500	20	125
Iulie	11 000	4,000	12	137
August	12 000	4,200	22	159
Septembrie	13 000	4,400	20	179
Octombrie	12 000	4,200	23	202
Noiembrie	11 000	4,000	19	221
Decembrie	9 000	3,500	21	242
	100 000	40,900		

$$\text{Stocul mediu de siguranță} = \frac{40,900}{12} = 3\,400$$

Figura 17.4 prezintă trei variante de programe de producție pentru a îndeplini cerințele. Planul 1, nivelul producției, este din multe puncte

de vedere cel mai simplu, deoarece nivelul forței de muncă este stabil. Nu este necesar timp suplimentar sau subcontractare, deoarece nivelul de 413 unități pe zi se încadrează în capacitatea normală a uzinei. Totuși, costurile stocurilor în acest plan sînt mari. La un cost de menținere a sto-

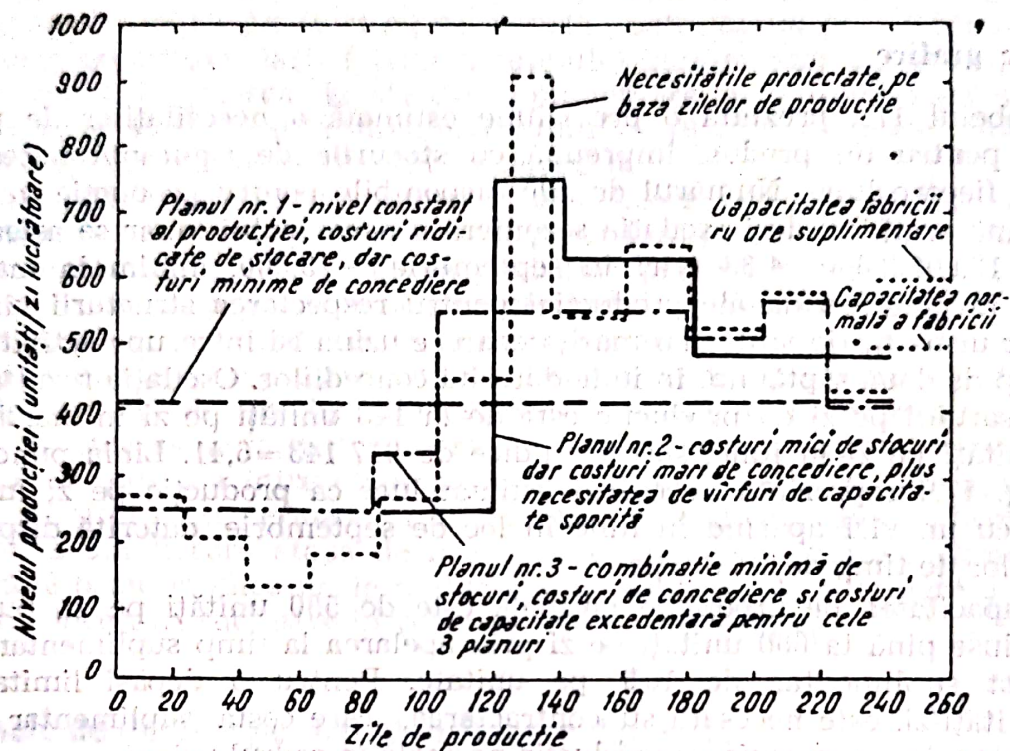


Fig. 17.4. Compararea a 3 programe alternative de producție ce satisfac cerințele.

cului de 40 \$ pe unitate, stocul sezonier mediu de 9 600 unități costă 384.000 \$. Stocul sezonier este cel cerut pentru a face față vîrfurilor sezoniere estimate de vânzări, peste cantitățile ce sînt produse ; el este egal cu stocul lunar total mai puțin stocul de siguranță pentru luna respectivă, pentru un anumit plan de producție. (Consultați tabelul 17.II pentru un rezumat comparativ).

Planul 2 încearcă să minimalizeze costurile de stoc prin urmărirea relativ exactă a curbei necesarului și realizează aceasta foarte bine, din moment ce stocurile medii sezoniere se ridică la cca. 1 150 unități la un cost de numai 46.000 \$ pe an, (o economie anuală de 338.00 \$ față de planul 1). Totuși, costurile fluctuației forței de muncă sînt mai mari, deoarece personalul fabricii trebuie aproximativ dublat pentru a ridica nivelul producției de la valoarea scăzută de 250 unități pe zi la capacitatea normală de 500 unități pe zi. Aceste costuri legate de fluctuația forței de muncă sînt de 164.300 \$ pe an. (Nu se angajează forța de muncă peste nivelul capacității normale a uzinei) (vezi tabelul 17.II). În plus, trebuie să apelăm atît la ore suplimentare, cît și la subcontractare pentru a realiza încărcarea de vîrf. Orele suplimentare costă 60.000 \$, iar subcontractarea altei 60.000 \$. Costurile totale sînt 330.300 \$, o îmbunătățire evidentă față de

Tabelul 17.11. Compararea celor trei programe alternative de producție din fig. 17.4

	Plan 1	Plan 2	Plan 3
Stoc mediu sezonier	9 600	1 150	2 275
Stoc mediu de siguranță	3 400	3 400	3 400
Stoc mediu total	13 000	4 550	5 675
Vîrfuri de capacitate solicitată (No. 1 = 100)	100	181	133
Creșteri ale stocurilor:			
Costul stocării sezoniere (*)	\$ 348 000	\$ 46 000	\$ 91 000
Costurile în manoperă (+)	0	164 300	164 300
Premii pentru ore suplimentare (++)	0	60 000	52 820
Subcontractări suplimentare (**)	0	60 000	0
TOTAL	\$ 384 000	\$ 330 300	\$ 308 120

(*) Costul stocării este de 40 \$ pe unitate pe an

(+) Presupunînd că o schimbare în rata de producție de 35 unități cere utilizarea sau renunțarea la 100 oameni și costul angajării și pregătirii unui salariat este de 230 \$.

(++) La 10 \$ pe unitate produsă în ore suplimentare

(**) Costuri suplimentare sînt de 15 \$ pe unitate subcontractată.

planul 1, deși costurile datorită fluctuației forței de muncă și capacității suplimentare sînt destul de mari.

Planul 3 încearcă să urmeze o cale de mijloc între planurile 1 și 2, menținînd personalul angajat pe o perioadă lungă de timp cu scopul eliminării necesităților de subcontractare. Aceasta implică un cost mai ridicat al stocurilor decît planul 2, dar elimină cei 60.000 \$ pentru subcontractări. Costurile legate de fluctuație rămîn aceleași ca în planul 2, deoarece în ambele cazuri fluctuația forței de muncă este bazată pe un nivel minim de 250 unități pe zi și un nivel maxim de 500 unități pe zi, care este capacitatea normală a uzinei. (Nu se angajează forță de muncă peste nivelul capacității normale a uzinei). Costul total al planului 3 este de 308.120 \$, cel mai scăzut din cele trei planuri.

Dacă dintre acestea este acceptabil planul 2 sau 3 este o altă întrebare. Ambele implică o fluctuație mare a forței de muncă (cca. 713 angajați). Dacă acești angajați au o calificare relativ înaltă și sînt dificil de găsit, această abordare poate fi improprie și poate avea efecte negative asupra relațiilor din cadrul colectivului. În același fel, pot fi examinate și alte combinații necesitînd o fluctuație mai puțin accentuată a forței de muncă.

Deși fig. 17.4 prezintă destul de clar efectele schimbărilor în nivelul producției, în practică este într-un fel mai ușor să se lucreze cu un grup de curbe cumulative ca în fig. 17.5. Procedeu constă în a reprezenta grafic mai întîi necesarul cumulat de producție. Curba necesarului cumulat maxim se află apoi în mod simplu prin adăugarea la curba precedentă a stocurilor tampon necesare pentru fiecare perioadă. Graficul cumulativ al necesarului maxim poate fi apoi utilizat ca bază pentru generarea propunerilor variantelor de program. Orice program de producție realizabil, în sensul că îndeplinește cerințele, asigurînd în același timp protecția prin stocurile tampon trebuie să fie în întregime deasupra liniei necesarului maxim cumulat. Distanțele pe verticală între curbele programelor pro-

puse și curba necesarului maxim cumulat reprezintă o acumulare de stocuri sezoniere aferente planului în chestiune.

Metodele grafice sînt simple și au avantajul prezentării vizuale a variantelor de programe în cadrul unui orizont de planificare larg. Difi-

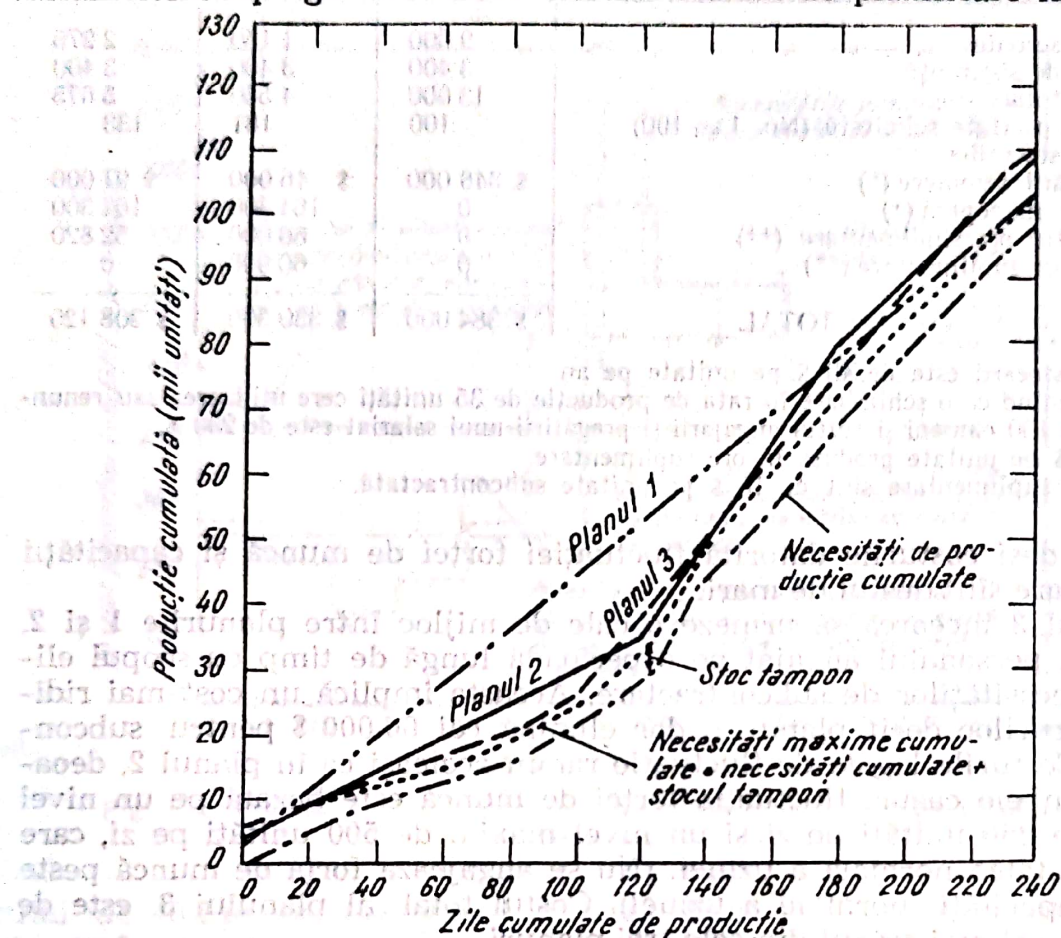


Fig. 17.5. Curbele cumulate ale cerințelor și alternativelor de program.

cultățile acestor metode sînt natura statică a modelului grafic și faptul că prelucrarea nu este în nici un caz o optimizare. În plus, prelucrarea nu generează programe bune luate ca atare, ci realizează o simplă comparație a propunerilor ce se fac.

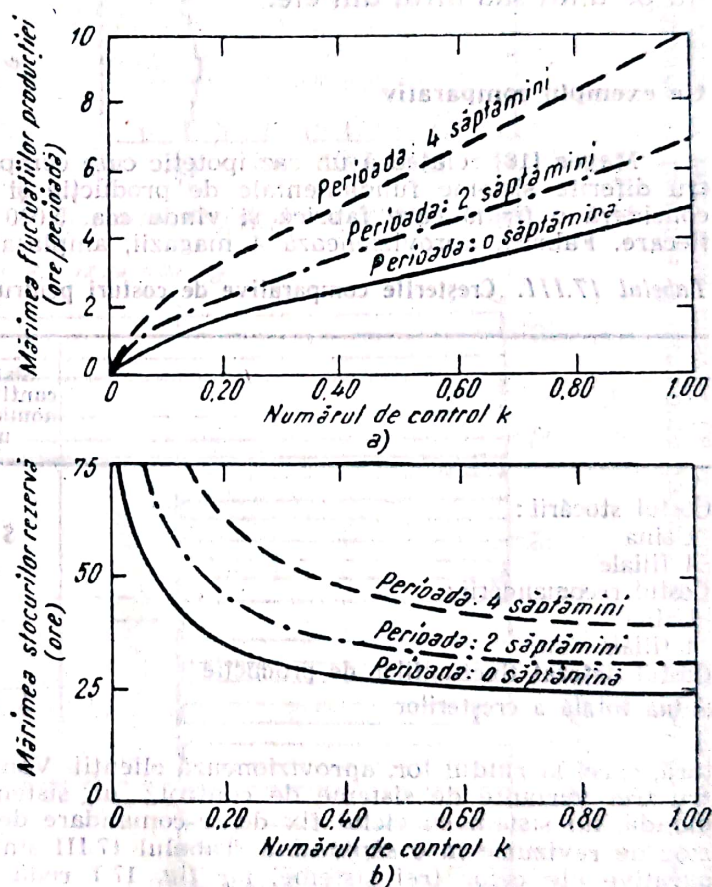
Metode de optimizare matematică

Vom discuta trei metode de optimizare matematică : metoda coeficientului de reacție optim, Regula Deciziei Lineare (RDL) și programarea lineară. Toate trei realizează optimizarea modelului conceput, așa că ceea ce interesează în mod special este stabilirea gradului de precizie cu care cele trei modele reprezintă realitatea.

Metodele coeficientului de reacție optim. Aceste metode au fost dezvoltate de către Magee [8], cu accent pe două variabile principale aflate

sub controlul conducerii : frecvența ajustărilor în nivelul producției și coeficientul de reacție al ajustării la schimbările în previziunea vânzărilor în perioada imediat următoare. Coeficientul de reacție al ajustării nivelului producției determină mărimea ajustării pentru o fluctuație dată a cererii. Dacă ajustăm nivelul producției planificate cu întreaga cantitate a variației vânzărilor de la previziuni, vom avea un coeficient de reacție de 100% și fluctuațiile în vânzări vor fi transmise direct asupra producției. Coeficientul de reacție de 100% conduce la cele mai grele probleme în angajarea, instruirea și concedierea de personal, cu costurile aferente acestei instabilități. Dacă ajustăm nivelul producției cu numai jumătate din schimbarea indicată de fluctuația cererii, vom avea un coeficient de reacție de 50%. Evident, acești coeficienți de reacție pot lua orice valoare de la zero la sută la sută. Coeficienții de reacție scăzuți ar conduce la o producție stabilă, dar cu stocuri mari, iar coeficienții de reacție mari — la o situație opusă.

Fig. 17.6. (a) Mărimea fluctuațiilor producției în funcție de numărul de control și durata perioadei de revizuire. (b) Stocurile de rezervă necesare în funcție de numărul de control și durata perioadei de revizuire (după [18], cu permisiunea autorilor).



Frecvența de revizuire are de asemenea un efect. Perioade de revizuire scurte conduc la fluctuații de producție mici și stocuri mai mici pentru un coeficient de reacție dat. Figura 17.6 prezintă relația numerelor de control (coeficient de reacție/100) și a perioadelor de revizuire cu mărimea fluctuației producției și mărimea stocurilor tampon sau de rezervă. Alegerea unui coeficient de reacție și a unei perioade de revizuire

pentru un caz dat ar depinde deci de echilibrul costurilor de menținere a stocurilor în funcție de costurile fluctuației producției; o analiză matematică conduce la combinația optimă pentru o anumită aplicație. În general, coeficienții de reacție mari și perioadele de revizuire lungi tind să ducă la un control excesiv.

Datorită faptului că o mare parte din fluctuația cererii se datorează unor cauze aleatorii, nu apare necesitatea unei reacții rapide. Coeficienții de reacție mai scăzuți și perioadele de revizuire scurte tind să creeze o atitudine de „așteaptă și vezi”, prin producerea de ajustări relativ mici cu o frecvență destul de mare. În principal, ele creează o acțiune de blocare, pentru a vedea dacă fluctuația vânzărilor reprezintă o creștere sau descreștere reală, sau o fluctuație aleatorie. Politica „așteaptă și vezi” cere stocuri mai mari, dar duce la costuri de rulaj mai scăzute. Mărimea optimă a controlului minimizează mai curând suma celor două tipuri de costuri și nu pe unul sau altul din ele.

Un exemplu comparativ

Magee [18] relatează un caz ipotetic care compară funcționarea și costurile pentru diferite sisteme fundamentale de producție și control al stocurilor. Exemplul consideră o firmă care fabrică și vinde cca. 5000 de mici mașini pe an cu 100 \$ fiecare. Fabrica aprovizionează 4 magazine, amplasate în zone bine determinate din

Tabelul 17.III. Creșterile comparative de costuri pentru trei sisteme de control a stocurilor

	Sisteme cu cantitate economică de comandă	Sistem cu ciclul fix de comandă la 2 săptămâni	Sistem cu stoc de bază cu rată de reacție de 5%
Costul stocării:			
Uzina	\$ 1 750	\$ 515	\$ 648
4 filiale	2 340	2 020	2 300
Costul recomandării:			
Uzina	350	350	350
4 filiale	990	1 980	2 081
Costul datorat fluctuațiilor de producție	8 500	2 250	256
Suma totală a creșterilor	\$ 13 930	\$ 7 115	\$ 5 635

țară, care, la rândul lor, aprovizionează clienții. Vom vedea rezultatele calculate pentru trei variante de sisteme de control: un sistem cu cantitate economică de comandă, un sistem cu ciclul fix de re-comandare de două săptămâni și un sistem cu stoc de revizuire la o săptămână. Tabelul 17.III sintetizează costurile variabile comparative ale celor trei sisteme, iar fig. 17.7 redă graficele efectelor tipice asupra nivelului producției. Evident, nu putem trage concluzia că toate organizațiile vor considera acestea ca efecte comparative precise, pentru că există diferențe între diverse întreprinderi în ceea ce privește caracteristicile costului stocurilor și fluctuațiile de volum. Ce putem observa este că ideea cantităților economice de comandă nu reprezintă un concept valabil pentru organizația luată ca un tot, deoarece produce o soluție suboptimă care nu ține seama de costul fluctuațiilor producției. Pentru exemplul care l-am folosit, aceste costuri erau extrem de importante. În alte situații, ele pot fi de o mai mică importanță, dar sînt întotdeauna factori ce trebuie luați în considerare în proiectarea sistemelor de control al producției și al stocurilor.

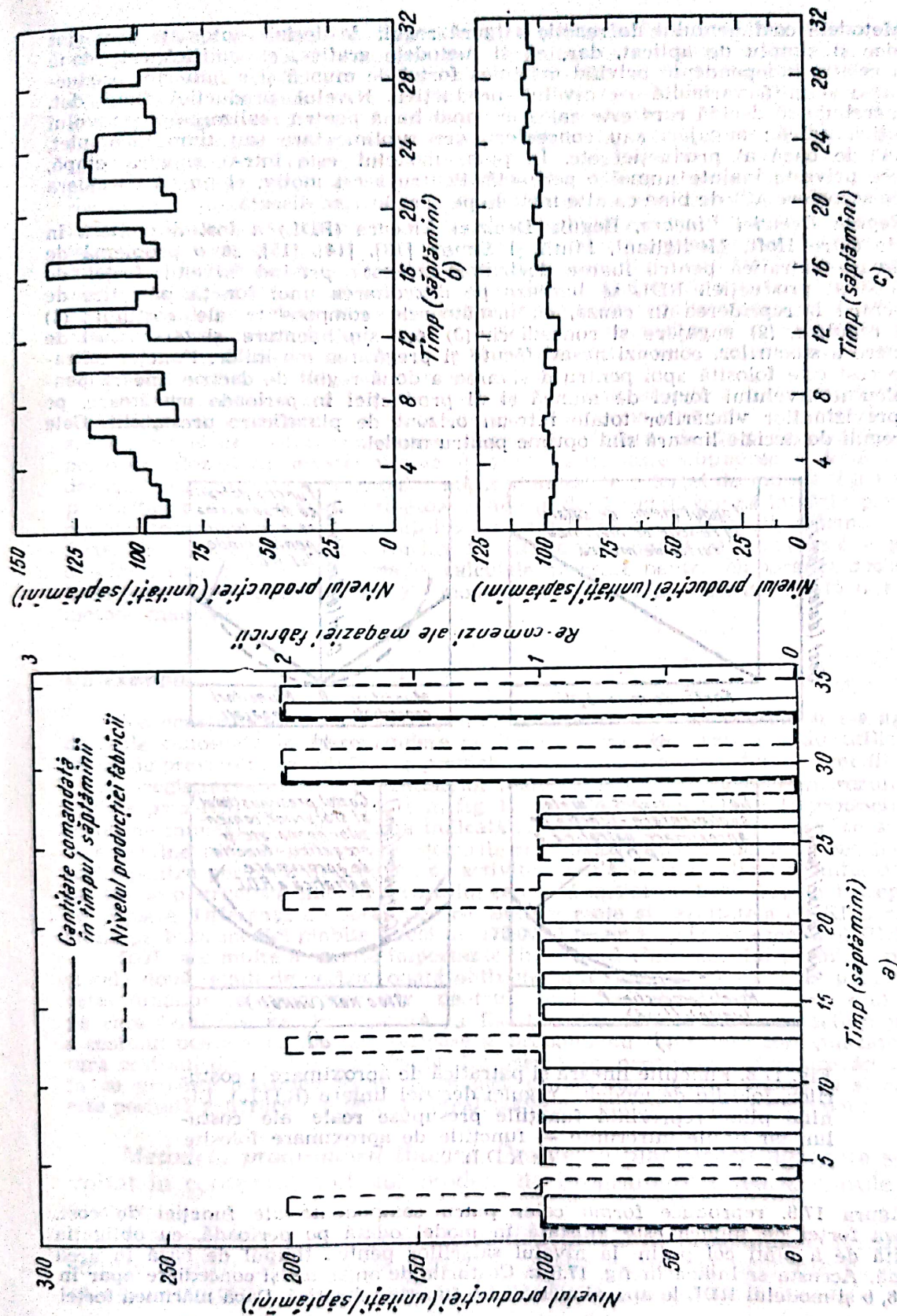


Fig. 17.7. (a) Comenzile de fabricație și nivelul producției în sistemul cu cantitate economică de comandă. (b) Nivelul producției în sistemul cu ciclu de comandă fix. (c) Nivelul producției în sistemul cu stoc de bază, și coeficientul de reacție = 5%, adaptat după [18], cu permisiunea autorilor.

Metodele coeficientului de reacție asigură reguli de decizie automate care sînt dinamice și simplu de aplicat, dar, ca și metodele grafice, ele unifică cele două decizii relativ independente privind mărimea forței de muncă și a indicelui producției într-o singură variabilă — nivelul producției. Nivelul producției fiind dat, cineva trebuie să decidă care este calea cea mai bună pentru realizarea obiectivului producției, adică: angajări sau concedieri, ore suplimentare sau timp incomplet, volumul de bază al producției etc. În plus, modelul este într-o singură etapă, deoarece privește înainte numai o perioadă. Pentru acest motiv, el nu va considera efectele sezoniere atît de bine ca alte metode pe care le vom discuta.

Regula Deciziei Lineare. Regula Deciziei Lineare (RDL) a fost dezvoltată în 1955 de către Hoft, Modigliani, Muth și Simon [13], [14], [15], ca o problemă de programare pătratică pentru luarea deciziilor agregate privind nivelul forței de muncă și al producției. RDL se bazează pe dezvoltarea unei funcții pătratice de cost pentru întreprinderea în cauză, cu următoarele componente ale costului: (1) salarii regulate, (2) angajare și concedieri, (3) ore suplimentare și (4) costuri de menținere a stocurilor, comenzi nesatisfăcute și pregătirea mașinilor. Funcția pătratică de cost este folosită apoi pentru derivarea a două reguli de decizie lineară pentru calculul nivelului forței de muncă și al producției în perioada următoare, pe baza previziunilor vânzărilor totale într-un orizont de planificare prestabilit. Cele două reguli de decizie lineară sînt optime pentru model.

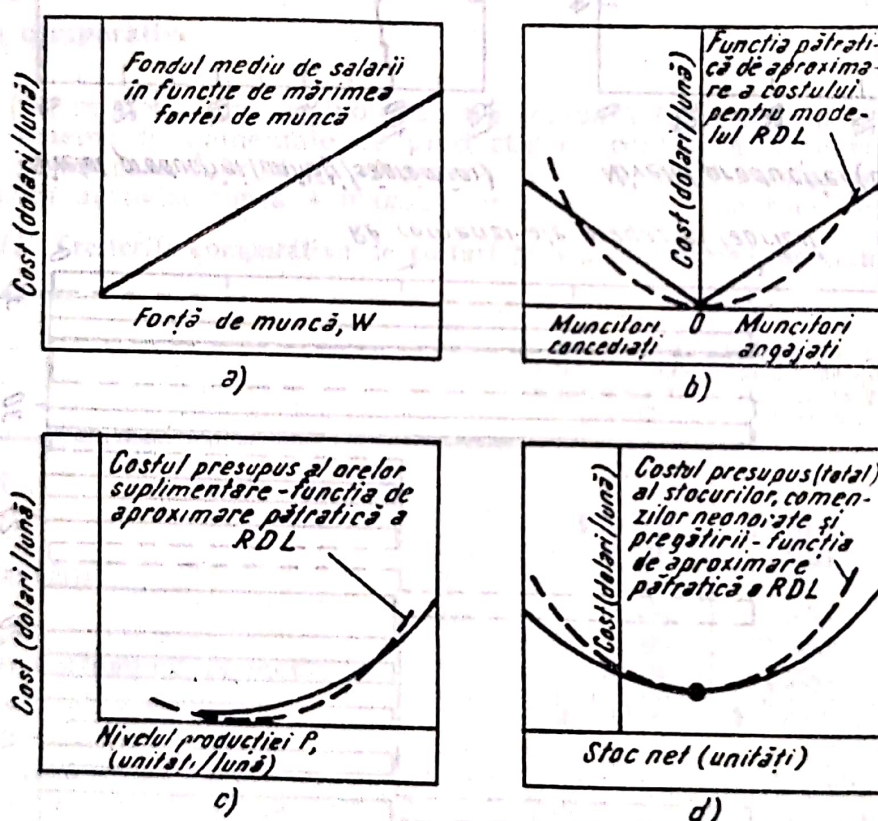


Fig. 17.8. Funcțiile lineare și pătratice de aproximare a costurilor, folosite de modelul regulei deciziei liniare (R.D.L.). Liniiile pline reprezintă funcțiile presupuse reale ale costului, iar liniile întrerupte — funcțiile de aproximare folosite de R.D.L.

Figura 17.8. reproduce forma celor patru componente ale funcției de cost. Mărimea forței de muncă este ajustată în model odată pe perioadă, cu obligația implicită de a plăti cel puțin la nivelul salariilor pentru timpul de bază în aceea perioadă. Aceasta se indică în fig. 17.8, a. Costurile de angajare și concediere apar în fig. 17.8, b și modelul RDL le aproximează cu o funcție pătratică. Dacă mărimea forței

de muncă este menținută constantă pentru perioada în cauză, atunci schimbările în nivelul producției pot fi absorbite prin folosirea orelor suplimentare sau a timpului parțial. Timpul parțial este costul muncii neutilizate la indicii salariului de bază. Costul orelor suplimentare depinde de mărimea forței de muncă W și de volumul producției agregate P . Forma funcției de cost ore suplimentare — timp neutilizat în funcție de volumul producției este prezentată în fig. 17.8 c, fiind aproximată printr-o funcție pătratică. Dacă aceste costuri de timp suplimentar sau timp neutilizat apar pentru o anumită decizie, aceasta depinde de balanța cheltuielilor definită de orizontul de timp. Spre exemplu, ca răspuns la necesitatea unei producții sporite, costurile de angajare și instruire trebuie să fie echilibrate cu costurile orelor suplimentare. Sau invers, ca răspuns la o scădere a nivelului producției, se cere echilibrarea costurilor de reducere de personal cu costurile timpului neutilizat. Forma generală a curbei costului stocului net este reprodusă în fig. 17.8 d. Când stocurile deviază de la nivelul ideal, fie trebuie absorbite costurile stocurilor suplimentare, dacă nivelul stocului este prea mare, fie vor apărea costuri ale comenzilor nesatisfăcute sau vânzărilor pierdute, dacă nivelul stocului este prea scăzut. Aceste costuri sînt și ele approximate printr-o funcție pătratică în modelul RDL.

Funcția costului suplimentar total este o sumă simplă a celor patru funcții de cost componente pentru un anumit exemplu. Problema matematică constă în minimizarea funcției de costuri combinate, lunare, în orizontul de timp de planificare de N perioade. Rezultatul acestei prelucrări matematice este obținerea a două reguli de decizie lineare, utilizate la calculul mărimii agregate a forței de muncă și a volumului producției pentru perioada următoare. Aceste două reguli cer ca intrări: previziunea pentru fiecare perioadă a orizontului de timp în termeni agregați, mărimea finală a forței de muncă și nivelul stocurilor în ultima perioadă. Odată colectate și pregătite datele pentru o anumită aplicație, calculele necesare pentru elaborarea deciziilor pe baza celor două reguli lineare ale modelului nu iau mai mult de 10—15 minute prin metode manuale.

Un exemplu

S-a construit un model RDL pentru o întreprindere de vopsele și s-a aplicat la deciziile cunoscute în întreprindere pe timp de șase ani trecuți. S-au utilizat două feluri de previziuni ca intrări: o previziune perfectă și o previziune cu medie mobilă.

Inregistrarea grafică a rezultatelor reale ale fabricii comparate cu rezultatele simulate prin RDL sînt prezentate în fig. 17.9 și 17.10 (pentru nivelele producției și ale forței de muncă). În bibliografia indicată [15] se găsesc rezultatele grafice suplimentare privind orele suplimentare, stocurile și comenzile neonorate. S-au recalculat costurile pentru perioada de șase ani de activitate reală și s-au aplicat regulile de decizie bazate pe o structură lineară a costului estimată inițial pe baza datelor întreprinderii de vopsele. Diferența de cost între rezultatele reale și rezultatele cu RDL cu previziune pe baza mediei mobile a fost de 173.000 \$ pe an în favoarea metodei RDL.

RDL are multe avantaje importante. În primul rînd modelul permite optimizări și cele două reguli de decizie, odată obținute, sînt simple de aplicat. În plus, modelul este dinamic și reprezentativ pentru tipul de sistem în mai multe etape pe care l-am discutat în legătură cu fig. 17.3. Pe de altă parte, structura pătratică a costului poate avea limitări serioase și probabil nu reprezintă corespunzător structura costului din nici o organizație. De asemenea, pentru că nu se prevăd restricții în ce privește mărimea forței de muncă, timpul suplimentar, stocurile și capitalul, este posibilă generarea de decizii nerealizabile din anumite puncte de vedere.

Metodele programării lineare. Problema planificării agregate s-a dezvoltat în contextul ambelor modele de programare lineară, simplex și de alocare.

Bowman [3] a propus *modelul distributiv* al programării lineare ca o soluție pentru planificarea agregată. Acest model își propune ca obiectiv alocarea unităților de capacitate de producție, astfel încît costurile de pro-

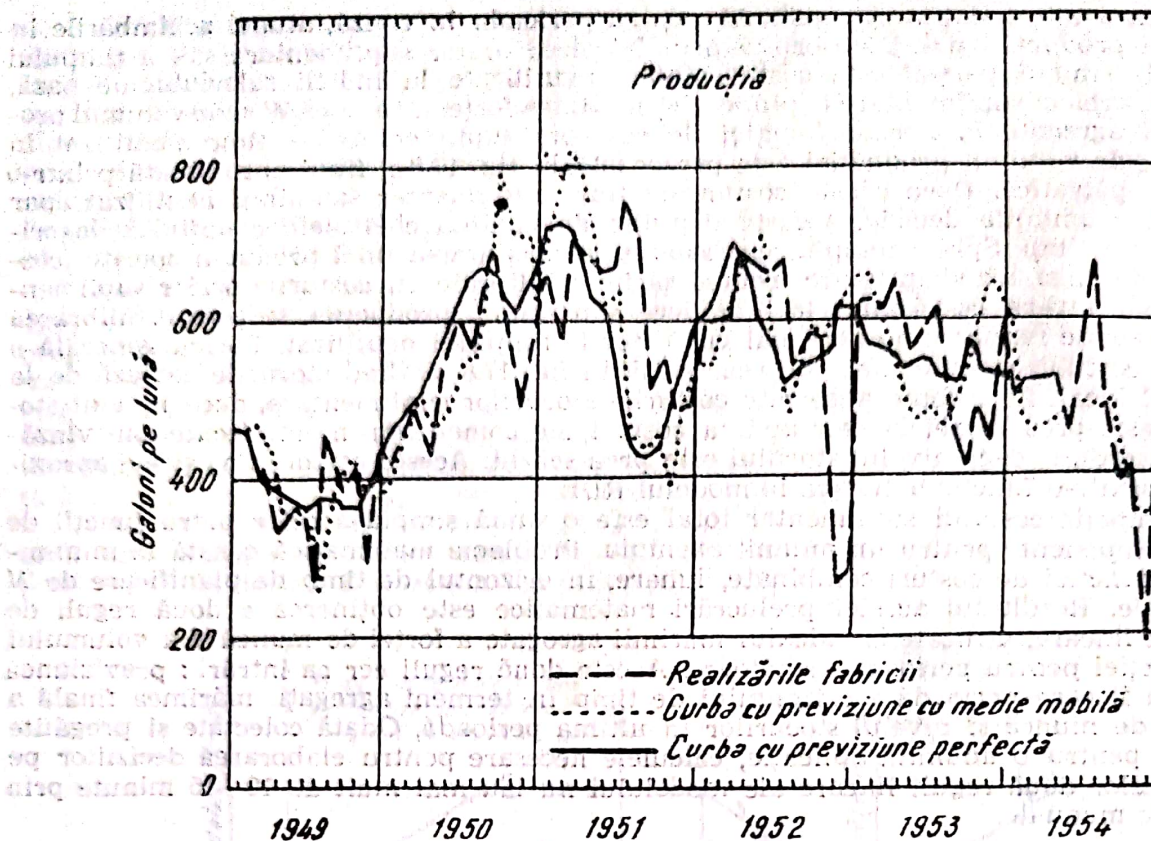


Fig. 17.9. Compararea performanțelor regulei deciziei liniare (R.D.L.) cu performanțele reale ale fabricii privind nivelul producției (după [15]).

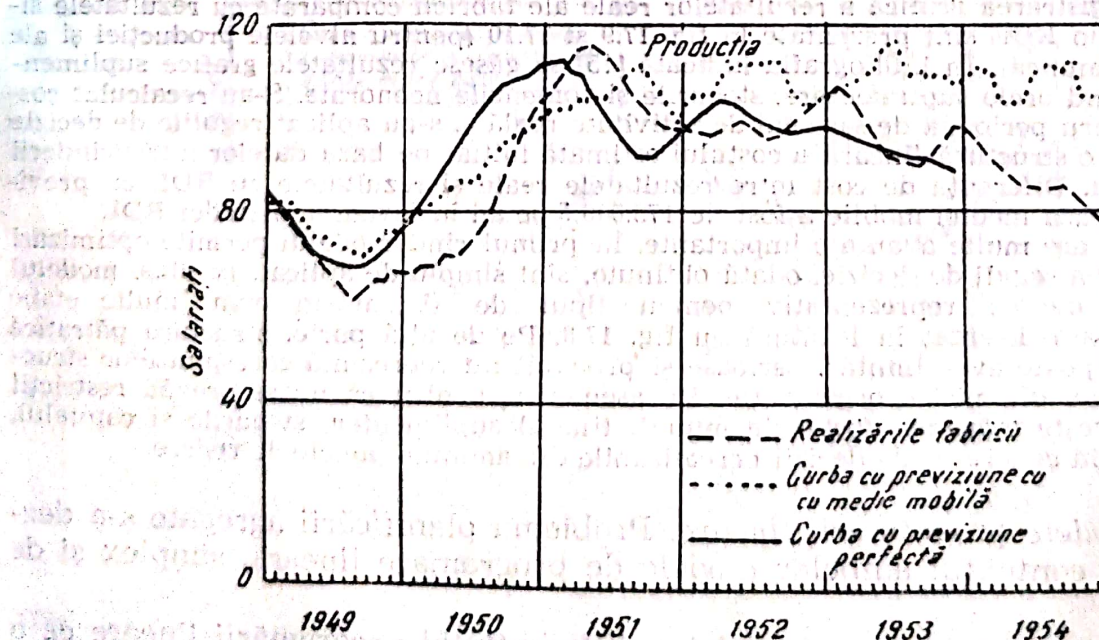


Fig. 17.10. Compararea performanțelor regulei deciziei liniare (R.D.L.) cu performanțele reale ale fabricii privind mărimea forței de muncă (după [15]).

ducție plus depozitare să fie minime și cererea la vânzare să fie satisfăcută în cadrul limitei capacității disponibile. Condițiile marginale în matricea de distribuție formează restricțiile : trebuie satisfăcute pe de o parte cerințele de vânzare, iar pe de altă parte limitările de capacitate sub forma stocului inițial, de capacitate de producție normală și de capacitate de producție suplimentară. Atât stocurile inițiale, cât și cele finale, trebuie specificate pentru programul construit pe N perioade în cadrul orizontului de planificare. Elementele matricii sînt costuri. Funcția obiectiv care trebuie minimizată este reprezentată de costurile combinate ale producției normale, ale producției obținute prin ore suplimentare și ale stocurilor. Rezultatul prelucrării este un program care specifică mărimea producției normale și a celei obținute prin ore suplimentare pe fiecare perioadă a orizontului de planificare. Matricea de bază poate fi extinsă la mai multe produse prin stabilirea unei coloane separate în fiecare perioadă pentru fiecare produs. Metodele distributive ale programării lineare au serioase limitări cînd se aplică la problema planificării agregate. În primul rînd, modelul distributiv nu ține cont de costul schimbărilor de producție, cum ar fi angajarea sau concedierea de personal, și, de asemenea, nu introduce penalizări pentru comenzile nesatisfăcute sau vânzările pierdute. Astfel, programele rezultate pot cere schimbări în nivelul producției într-una din perioade, ducînd la mărirea forței de muncă, pentru ca apoi să ceară concedierea acelor muncitori în perioada următoare. De asemenea, cerințele de linearitate sînt adeseori restrictive.

Metoda simplex a programării lineare face posibilă includerea în model a costurilor schimbărilor în nivelul producției și costurile lipsei de stocuri [12], [19]. Hanssmann și Hess [12] au dezvoltat un model simplex care este în întregime paralel cu regula deciziei lineare în ce privește utilizarea forței de muncă și a nivelului producției ca variabile de decizie independente, ca și în ce privește componentele modelului de cost și includerea unui orizont de planificare prestabilit. Deosebirea principală între modelul de programare liniară Hanssmann-Hess și RDL este aceea că funcțiile de cost trebuie să fie lineare și nu pătratice și că programarea liniară este utilizată ca o modalitate de soluționare. În consecință, avantajele și dezavantajele modelului Hanssmann-Hess sînt, în mare, aceleași ca și pentru RDL. Alegerea unuia dintre cele două modele poate depinde de preferința într-o aplicație dată pentru un model de cost linear sau pătratic. O serie de aplicații industriale ale programării lineare în planificare agregată sînt prezentate de Eisemann și Yonng [7], în studiul unei filaturi textile, de Fabian [8] într-un studiu asupra producției siderurgice și de către Greewe, Chatto, Hicks și Cox [11] într-un studiu despre industria ambalajelor.

Metode euristice de programare

Există două variante de programare euristică, destul de diferite, pentru luarea deciziilor de planificare agregată. Prima, care aparține lui Bowman [2] folosește media activității de conducere din trecut pentru

obținerea coeficienților pentru regulile de decizie. Un al doilea model euristic, dezvoltat de Jones [17] este planificarea parametrică a producției.

Modelul coeficienților de conducere [2]. Acest model propune stabilirea formei regulilor de decizie pentru planificarea agregată printr-o analiză riguroasă și stabilirea coeficienților pentru regulile de decizie prin analiza statistică a propriilor decizii trecute ale conducerii. Această tehnică diferă de Regula Deciziei Lineare, la care atât forma, cât și coeficienții erau determinați prin analiza matematică. Teoria care sta la baza regulilor lui Bowman pleacă de la presupunerea faptului că comportarea conducerii, fiind de fapt sensibilă la aceleași criterii folosite în modelele analitice, tinde să fie extrem de variabilă, nesiutându-se în mod constant deasupra sau dedesubtul realizărilor optime. În contextul teoriei lui Bowman, performanțele unei conduceri care utilizează regulile de decizie pot fi îmbunătățite considerabil prin simpla aplicare a acestor reguli cu mai multă consecvență. Funcțiile obiectiv au de obicei o porțiune plată în jurul optimului (formă de „farfurie”) și, de aceea, inconstanța în aplicarea regulilor de decizie este mult mai costisitoare decât situarea cu consecvență puțin mai sus sau mai jos față de deciziile optime.

Bowman a întocmit un studiu asupra unui producător de ciocolată, pentru care a determinat comportarea reală a programării întreprinderii printr-o analiză de regresie, pe care a comparat-o cu rezultatele RDL [2]. Pentru regula mărimii forței de muncă s-a obținut un coeficient de corelare multiplă de $r=0,971$, iar pentru regula nivelului producției unul de $r=0,87$. „Cu alte cuvinte forma acestor reguli dau o indicație destul de bună despre deciziile conducătorilor fabricii de ciocolată: conducătorii s-au ghidat după aceleași variabile în comportarea deciziei lor”. Bowman descrie patru aplicații ale modelului coeficienților de conducere în comparație cu modelul RDL, cu rezultate care includ realizările reale ale fabricii. Modelul coeficienților de conducere pare să dea rezultate mai bune decât activitatea reală a întreprinderii, dar nu la fel de bune ca cele optime ale RDL. În plus Gordon [10] a făcut un studiu detaliat al industriei de bere, în care a comparat RDL-ul, modelul coeficienților de conducere, un model descriptiv și rezultatele reale ale fabricii. Din nou, modelul coeficienților de conducere a acționat mai bine decât rezultatele reale ale fabricii și modelul descriptiv, dar mai slab ca RDL.

Planificarea parametrică a producției. Planificarea parametrică a producției (PPP), dezvoltată de Jones [17], depinde de două reguli de decizie lineare cu reacție: una pentru mărirea forței de muncă și alta pentru nivelul producției. Fiecare regulă de decizie are doi parametri care o definesc. Astfel, rezultă un spațiu cu patru dimensiuni în care trebuie găsită, pentru o anumită formă, combinația de parametri corespunzătoare costului minim de funcționare. Abordarea lui Jones cere deci evaluarea unor serii diferite de parametri prin structura de cost unică a unei forme, în vederea alegerii acelei serii de parametri care conduce la un cost minim, cel puțin pentru orizontul de timp de planificare. Nu se impun restricții în ce privește forma matematică a funcțiilor de cost; ele pot fi pur și simplu cele mai bune estimări ale funcțiilor de cost. Parametrii aleși sînt încorporați în cele două reguli de decizie, pentru a le face aplicabile la o

anumită firmă. Deci, deoarece regulile de decizie nu sînt optime, în sensul unui optim demonstrat matematic, procedeul curistic produce planuri de producție agregate implicînd costuri care nu mai pot fi reduse cu ușurință.

Jones a aplicat modelul său euristic la patru situații diferite. Prima a fost o fabrică devopsele utilizată ca mijloc pentru studiul RDL. A doua a fost o firmă ipotetică unde se presupunea o previziune perfectă și compararea cu rezultatele unui model de programare lineară. A treia se referea la aceeași firmă ipotetică, (inclusiv compararea cu modelul de programare lineară), dar previziunea perfectă a fost înlocuită cu o previziune incertă. A patra aplicație avea ca subiect al studiului un joc complex de simulare a conducerii în care Jones făcea o comparație între trei modalități și anume : modelul său, RDL și modelul de programare lineară.

În prima comparație a rezultatelor fabricii de vopsele cu RDL, PPP-ul lui Jones practic dubla costurile obținute cu RDL. În a doua aplicație, implicînd previziunea perfectă, PPP s-a dovedit a fi cu circa 80% mai scump decît soluția programării lineare. În a treia aplicație, cea cu previziune incertă, PPP a fost cu 8,50% mai eficient decît programarea lineară. În fine, într-a patra aplicație, implicînd un joc complex de conducere, PPP a acționat ceva mai bine atît față de programarea lineară, cît și față de RDL. În această ultimă aplicație, Jones justifică ineficiența RDL-ului, notînd că funcțiile pătratice de cost au fost o aproximare inexactă a costurilor reale ale firmei, ceea ce ar putea fi adesea adevărat.

În aprecierea metodelor euristice, se observă că avantajul lor imediat este libertatea față de constrîngerile formei matematice impuse de RDL și programarea lineară. Metodele sînt flexibile și încearcă să se adapteze la situația reală. Modelul coeficienților de conducere poate fi tentant pentru conducătorii la nivel operativ pentru că se bazează pe practici de conducere reale și limitează inconsecvența unor asemenea practici. Pînă în momentul de față, însă, modelul coeficienților de conducere nu a dat rezultate la fel de bune ca RDL. Modelul PPP are de asemenea avantajul că reflectă activitatea de conducere prin utilizarea costurilor efective ale fabricii pentru obținerea celei mai bune combinații a celor patru parametri. Deși PPP nu poate fi caracterizat ca o procedură de optimizare, el pare să producă rezultate comparabile cu modelul RDL pentru fabrica de vopsele și chiar mai bune decît el, atunci cînd funcțiile pătratice de cost sînt o aproximare inexactă, așa cum a fost cazul cu jocul complex de conducere.

Regula Căutării Deciziei (RCD)

Pentru evaluarea sistematică a funcției-obiectiv de cost în puncte nodale, poate fi utilizată o procedură de căutare a deciziei optime cu ajutorul calculatorului. Se speră că prin această procedură să se găsească în final o valoare optimă, dar acest lucru nu este garantat. În metodele de căutare directă a optimului cu calculatorul, se evaluează funcția-obiectiv de cost într-un punct, se compară rezultatul cu cele ale încercărilor pre-

cedente, determinându-se o mișcare pe baza unui set de reguli euristice. Se analizează apoi noul punct și procedura se repetă fie pînă cînd nu poate fi găsită o valoare mai bună a funcției, fie pînă cînd se depășește o limită prestabilită a timpului de calculator. Taubert [22] a ales modelul de program de căutare Hooke-Jeeves [16] ca mijloc de experimentare a problemei planificării și programării agregate. Pentru a testa oportunitatea utilizării unui asemenea program, el a ales exemplul fabricii de vopsele folosită la testarea RDL.

În termeni generali, funcția-obiectiv de cost reprezintă costurile ce trebuie minimizate de-a lungul orizontului de timp de planificare; ea poate fi exprimată ca o funcție de nivelele producției și forței de muncă în fiecare perioadă a orizontului de planificare. Ca urmare, fiecare perioadă inclusă în orizontul de planificare cere adăugarea la funcția-obiectiv a două dimensiuni, una pentru nivelul producției și alta pentru nivelul forței de muncă. Tipul specific de program de căutare utilizat a fost scris pentru manevrarea a maximum 20 variabile independente, astfel că orizontul de timp de planificare în analiza lui Taubert a fabricii de vopsele a fost limitat la 10 luni. S-a stabilit ca programul de căutare să se termine cînd descreșterea în funcția-obiectiv de cost găsită prin explorarea de către RCD a suprafeței de răspuns este mai mică decît $0,5 \times 10^{-6}$ \$.

Tabelul 17.IV reproduce un fragment din listele obținute de la calculator pentru prima lună de lucru a fabricii de vopsele. Această listă prezintă decizia pentru prima lună și un întreg program pentru orizontul de planificare de 10 luni. În jumătatea inferioară a tabelului programul tipărește pentru întregul orizont de planificare componentele de cost privind salariile, cheltuielile de angajare și concediere, cele pentru orele suplimentare și stocuri și totalul acestor costuri variabile. Astfel, unui director de producție i se furnizează nu numai deciziile imediate pentru luna următoare, ci și deciziile proiectate bazate pe previziunile lunare pentru orizontul de timp de planificare și consecințele economice ale deciziilor din fiecare lună.

Tabelul 17.IV. Ieșiri RCD pentru prima lună de funcționare a uzinei (previziuni perfecte)

A. Decizii RCD și proiecte

Luna	Vinzări (galoane)	Producție (galoane)	Stocuri (galoane)	Forța de muncă (rement oameni)
0			263.00	81.00
1	430	471.89	304.89	77.60
2	447	444.85	302.74	74.10
3	440	416.79	279.54	70.60
4	316	380.90	344.44	67.32
5	397	374.64	322.08	64.51
6	375	363.67	310.75	62.07
7	292	348.79	367.54	60.22
8	458	358.63	268.17	58.68
9	400	329.83	198.00	57.05
10	350	270.60	118.60	55.75

B. Analiza costurilor deciziilor și proiectelor (dolari) [23]

Luna	Plăți	Angajări și concedieri	Lucru suplimentar	Stoc	Total
1	26 384,04	743,25	2 558,82	18,33	29 704,94
2	25 195,60	785,62	2 074,76	24,57	28 080,54
3	24 004,00	789,79	1 555,68	135,06	26 484,53
4	22 888,86	691,69	585,21	49,27	24 215,03
5	21 932,79	508,43	1 070,48	0,36	23 512,06
6	21 102,86	383,13	1 206,90	7,06	22 699,93
7	20 473,22	220,51	948,13	186,43	21 828,29
8	19 950,99	151,70	2 007,33	221,64	22 331,66
9	19 395,30	171,76	865,74	1 227,99	21 660,79
10	18 954,76	107,95	1 396,80	3 346,46	21 012,37
					241 530,14

Tabelul 17.V prezintă o comparație lună cu lună, pentru primele 24 de luni, a rezultatelor obținute cu programul RCD față de cele obținute prin cele două reguli de decizii optime prin RDL. Deciziile de la lună la lună nu sînt identice, dar sînt foarte apropiate una față de alta. Totalurile

Tabelul 17.V. O comparație a regulei de decizie lineară și a regulei de căutare a deciziei pentru primele 24 de luni operative cu datele companiei de vopsele (previziune perfectă)

Luna	Vinzări lunare (galoane)	Producția (galoane)		Forța de muncă (oameni)*		Stocuri (galoane)		Cheltuieli lunare (dolari)	
		RDL	RCD	RDL	RCD	RDL	RCD	RDL	RCD
0				81	81	263	263		
1	430	468	472	78	78	301	305	29,348	29,705
2	447	442	443	75	74	296	301	27,797	27,930
3	440	416	418	72	71	272	279	26,294	26,460
4	316	382	385	69	68	337	348	24,094	24,415
5	397	377	376	67	66	317	327	23,504	23,436
6	375	368	366	66	64	311	318	22,879	22,672
7	292	360	360	65	63	379	386	22,614	22,539
8	458	382	382	65	63	303	309	23,485	23,322
9	400	377	379	66	64	280	288	23,367	23,331
10	350	366	366	67	64	296	304	22,846	22,569
11	284	365	359	69	67	377	379	23,408	23,004
12	400	404	401	72	70	381	380	25,750	25,654
13	483	447	447	75	74	345	344	28,266	28,367
14	509	477	479	79	78	313	314	30,180	30,408
15	500	495	498	83	81	307	312	31,310	31,479
16	475	511	510	87	86	343	348	32,422	32,481
17	500	543	547	91	90	386	394	34,858	35,074
18	600	595	592	96	94	380	387	38,118	38,216
19	700	641	642	100	98	321	328	40,849	41,110
20	700	661	659	103	101	282	287	41,848	41,898
21	725	659	658	105	103	216	220	41,945	41,981
22	600	627	624	106	105	244	245	39,074	38,940
23	432	605	601	107	106	417	413	38,134	37,928
24	615	653	655	109	108	455	454	41,785	42,003
Total		11 621	11 619	1 972	1 936	7 859	7 970	734,176	734,982

* Rotunjit la numărul următor mai mare de oameni după, W. H. Taubert, ibid.

producției pe cele 24 de luni diferă numai prin 10 kg. Costul total al planurilor și programelor RCD depășește RDL cu numai 806 \$, sau 0,11%. Această diferență poate fi pusă pe seama faptului că RCD a utilizat un orizont de planificare de numai 10 luni față de orizontul de 12 luni folosit de RDL.

Aplicarea RCD la o întreprindere ; Rezultatele încurajatoare obținute la fabrica de vopsele, unde practic s-au atins performanțele RDL-ului, s-a decis testarea RCD într-o situație unde aceasta era mai potrivită [6]. S-a ales pentru utilizarea posibilităților RCD de a rezolva orice fel de funcții complexe de cost și de a crește numărul de variabile de decizie independente de la două la trei. Întreprinderea cercetată este ipotetică ; ea nu diferă sensibil față de fabrica de vopsele, dar tipul de date suplimentare necesare în model nu erau disponibile pentru fabrica de vopsele. Cu toate acestea, multe din valorile costurilor provin din exemplul fabricii de vopsele și modelul a fost dezvoltat cu datele de vânzare ale aceleiași fabrici.

Întreprinderea cercetată are trei variabile independente care sînt sub controlul conducerii. Toate deciziile produse de model se referă la mărimea forței de muncă directe (FD), mărimea forței de muncă indirecte (FI) și nivelul producției (P). Toate componentele costului sînt funcții de una sau mai multe din aceste trei variabile independente. Funcția-obiectiv de cost este alcătuită din următoarele nouă componente ale costului :

1. Salariile directe, o funcție lineară de mărimea forței de muncă directe, FD .
2. Salariile indirecte, o funcție lineară de mărimea forței de muncă indirecte, FI .
3. Orele suplimentare directe, o funcție de mărimea maximă ce poate fi produsă de forța de muncă directă. Desigur că funcția de producție reflectă reducerea productivității pe măsură ce mărimea forței de muncă directe se apropie de limitele capacității unui schimb. Curba productivității a fost aproximată printr-o ecuație polinomială de gradul șapte.
4. Orele suplimentare indirecte, ce depind de mărimea efectivă a forței de muncă directe, approximate printr-o ecuație polinomială de gradul șase.
5. Costurile directe de angajare-concediere, o funcție lineară de schimbările de la perioadă la perioadă a forței de muncă directe, cu costuri diferite pentru angajare și pentru concediere.
6. Costurile indirecte de angajare-concediere, o funcție lineară de schimbările de la perioadă la perioadă a măririi forței de muncă indirecte, cu costuri diferite pentru angajare și pentru concediere.
7. Costurile de menținere a stocurilor și costurile datorită rupturilor de stoc ; cu costuri de menținere variază linear, iar cele de ruptură de stoc după o lege pătratică.
8. Costurile de schimbare a nivelului producției, ca urmare a reorganizărilor necesare, a reechilibrării liniilor de producție etc.
9. Costurile de inițiere sau de eliminare a schimbului doi ; aceste costuri se aplică o singură dată.

În plus, în modelul întreprinderii cercetate s-au introdus restricții referitoare la limitarea orelor suplimentare pentru forța de muncă directă,

domenii de variație pentru variabilele independente și o relație între stocuri, vânzări și producție.

Modelul complex al întreprinderii cercetate a fost prelucrat cu programul RCD, furnizându-se date asupra vânzărilor fabricii de vopsele pe primele 30 de luni; s-a obținut secvența deciziilor pe 24 de luni. Figurile 17.11 și 17.12 prezintă grafic rezultatele deciziilor obținute cu programul RCD, tabelul 17.VI sintetizând rezultatele sub forma costurilor asociate.

Datele asupra vânzărilor au fost alese în mod intenționat în așa fel încât să conducă modelul prin toate condițiile de aplicare, inclusiv necesitatea unui al doilea schimb. De un interes aparte este răspunsul stabil și lin al deciziilor RCD la variația foarte largă a cifrelor de vânzări. În cele din urmă, RCD cere al doilea schimb în luna a 17-a. Observați că începând cu aproximativ luna a 11-a, costurile unitare cresc substanțial, reflectând

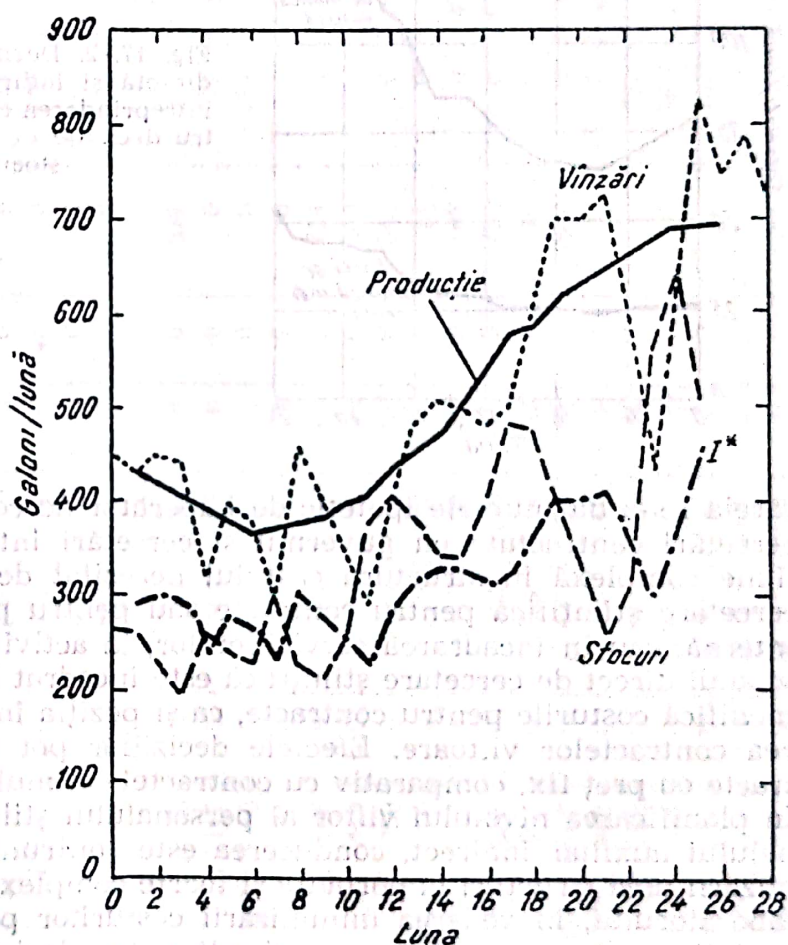


Fig. 17.11. Decizii asupra nivelului producției la întreprinderea cercetată. I* este stocul net optim al sistemului — excluzând stocurile folosite pentru nivelarea producției (după [6]).

productivitate mai scăzută a muncii, costuri mai mari cu orele suplimentare și costurile de angajare crescute.

Aprecierea RCD. Flexibilitatea metodelor de căutare cu ajutorul calculatorului în construirea unor modele de cost foarte realiste și posibilitatea extinderii numărului de variabile de decizie independente, fac

RCD-ul foarte atractiv ca mijloc al planificării agregate. El este și economic în utilizare, timpul de calculator necesar fiind de numai 40 de secunde pentru un set lunar de decizii, în cazul modelului complex al întreprinderii cercetate.

Recent, Taubert a elaborat un model de planificare și programare agregată în format RCD, pentru o activitate reală de cercetare-dezvoltare,

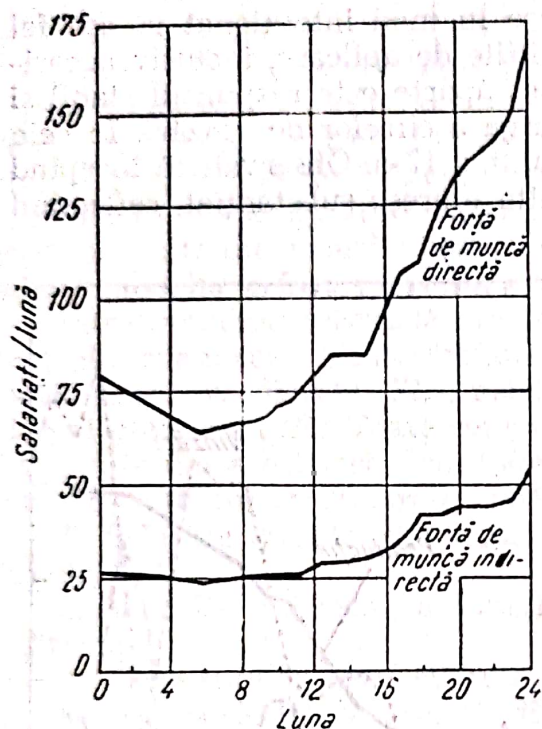


Fig. 17.12. Decizii pentru forța de muncă directă și indirectă luate de RCD pentru întreprinderea cercetată. Vezi fig. 17.11. pentru deciziile de producție și datele asupra stocurilor (după [6]).

căreia i s-a dat numele ipotetic de Laborator de cercetare. Acesta execută cercetări contractate cu guvernul și cercetări interne. Există o interacțiune complexă în structura costului necesitat de atribuirea forțelor de cercetare științifică pentru contracte sau pentru programele de cercetare internă, sau în încadrarea serviciilor lor, la activități generale. Când personalul direct de cercetare științifică este încadrat la activități generale, se modifică costurile pentru contracte, ca și poziția întreprinderii în negocierea contractelor viitoare. Efectele deciziilor pot fi diferite pentru contracte cu preț fix, comparativ cu contractele stimulative sau de alte tipuri. În planificarea nivelului viitor al personalului științific direct și al personalului auxiliar indirect, conducerea este confruntată cu problema minimizării unei structuri importante și foarte complexe de costuri. În modelul laboratorului, în vederea minimizării costurilor pe durata orizontului de planificare, se iau în fiecare perioadă patru decizii independente, în termeni globali, astfel :

1. Personal științific direct pentru contracte
2. Personal științific direct pentru programe de cercetare internă
3. Personal științific direct încadrat în activități generale
4. Nivelul personalului indirect.

Tabelul 17.VI. Rezultatul cheltuielilor pentru decizii RCD la întreprinderea corcetată

Luna	Manoperă directă				Manoperă indirectă			Stocuri		Costul da- torat schimbări- lor de pro- ducție	Costul schimbări- lor de ture	Costuri totale	Costuri unitare
	Salarii	Supli- men- tare	Costul anga- jării conce- dierilor	Costul conce- dierilor	Salarii	Costul anga- jării conce- dierilor	Costul conce- dierilor	Costul trans- por- tului	Costul ruperilor de stoc				
1	26 490	0	0	371	7424	69	0	0	0	76	183	34 613	81,0
2	25 442	0	0	370	7301	0	0	0	0	428	66	33 607	81,3
3	24 655	0	0	278	7176	0	0	45	0	952	40	33 146	82,5
4	23 659	0	0	351	7030	0	0	0	97	0	66	31 203	81,3
5	22 855	0	0	284	6919	0	0	40	0	130	44	30 273	81,3
6	22 186	0	0	236	6833	0	0	0	0	135	31	29 421	81,0
7	22 507	2	66	0	6859	19	0	0	377	0	8	29 838	81,0
8	23 078	0	117	0	6942	9	0	0	0	517	23	30 686	81,2
9	23 077	250	0	0	6944	35	0	0	0	439	2	30 748	80,6
10	24 309	0	254	0	7124	0	33	0	0	1	77	31 798	80,1
11	25 058	0	189	0	7239	0	0	0	754	0	35	33 275	81,1
12	27 096	0	419	0	7589	1	64	0	660	0	261	36 089	83,0
13	28 884	0	360	0	7925	19	61	0	345	0	165	37 720	82,7
14	28 876	1013	0	0	7972	157	0	0	81	0	46	38 145	81,6
15	28 877	4266	0	0	8462	209	89	0	106	0	472	42 482	84,2
16	32 196	4786	683	0	9019	849	101	0	483	0	637	48 753	89,7
17	36 593	5489	905	0	10 294	1369	232	0	828	0	738	58 447	100,6
18	37 831	5675	255	0	11 436	577	208	0	567	0	41	56 590	95,9
19	41 959	6268	850	0	11 436	2719	0	0	0	7	388	63 627	103,0
20	44 823	0	590	0	11 965	3492	96	0	0	437	193	61 596	96,8
21	47 050	7056	458	0	11 967	4514	0	0	0	1983	135	73 164	112,0
22	48 360	7254	270	0	12 198	4787	0	0	0	152	56	73 077	110,2
23	50 471	7344	435	0	12 344	5395	27	0	1371	0	143	77 529	114,0
24	56 665	1884	1275	0	15 073	2847	496	0	1381	0	111	79 732	114,8

Modelul de cost este incredibil de complex, implicând o mare varietate de forme și interdependențe ale funcției de cost. Totuși, testele preliminare arată că RCD controlează foarte bine acest model extrem de complex. Într-o dezvoltare mai extinsă a modelului pentru laboratorul de cercetare, deciziile privind cele trei componente ale personalului științific direct au fost separate și fiecare din ele s-a referit la câte 6 departamente diferite, ceea ce a indicat numărul de variabile de decizie independente la 19. Cum deciziile se elaborează pentru fiecare din cele 19 variabile de decizie pe un orizont de planificare de 6 luni, RCD prelucrează acum cu relativă ușurință o problemă cu 114 dimensiuni. Apare posibilă extinderea și mai mult a mărimii și complexității modelelor de planificare agregată, utilizând metodologia RCD [23] ...

Planificarea agregată pentru articole care nu se stochează

Planificarea agregată pentru articole ce nu se stochează nu trebuie să ia în considerare riscul menținerii de stocuri, dar elimină de asemenea stocurile ca unul din gradele de libertate ale conducerii — ele nu pot fi utilizate ca o alternativă pentru costul producției fluctuante. Am considerat două tipuri de sisteme producând articole pe contract, atelierul pe bază de comandă și proiectul unicat de mari proporții.

Atelierul cu comandă

Cum putem anticipa și planifica personalul necesar și nivelele producției, când producem o marfă sau un serviciu la comandă? Previziunea cererii pentru articole unice pare la prima vedere imposibilă, dar cererea trebuie legată de ceva în economie în general sau în industria noastră specifică. Este adevărat, atelierul cu comandă, de obicei, primește comenzi de lucru din orice sursă, lucrează într-un anumit domeniu, ca de exemplu industria aerospațială, sau pentru o anumită zonă. Astfel, cererea poate fi legată de necesitățile din cadrul ramurii, spre exemplu valoarea globală a contractelor pentru domeniul aerospațial, sau nivelele forței de muncă pe plan local. În orice caz, probabil că previziunea cererii nu poate fi atât de simplă ca la modelele de previziune exponențiale discutate în cap. 16. Previziunea trebuie ajustată la situație, dar ea se poate executa.

Se întâmplă deseori ca în organizațiile care lucrează pe comandă, cererea de flexibilitate în proiectarea articolului să se reflecte în cererea de personal cu o calificare relativ înaltă. Spre exemplu, mecanicii cu cea mai înaltă calificare sînt ceruți de atelierele care execută comenzi, de atelierele de prototipuri și așa mai departe. Personalul cu aceste nivele de calificare este cel mai greu de găsit, ceea ce face să menținem un om bine pregătit, chiar cînd încărcarea atelierului este scăzută. De fapt, putem imagina organizația care lucrează pe comandă ca deținînd un

„stoc“ de posibilități și aptitudini de a produce într-un anumit domeniu, disponibil la cerere și nu un stoc de mărfuri. Rezultatul este că acele costuri de personal tind să rămână la un nivel înalt, producând presiuni în sensul stabilizării personalului angajat în aceste organizații, datorită tuturor cauzelor discutate. Trebuie să recunoaștem că o parte a costurilor ridicate ale fluctuației reprezintă un cost necesar pentru menținerea imaginii de „întreprindere care merge bine“.

Unii conducători de organizații care lucrează pe comenzi sînt foarte sensibili la acești factori care pledează pentru o relativă stabilitate a personalului angajat, mergînd pînă la modificarea politicii de prețuri pentru a menține integritatea organizației în perioadele fără comenzi. Nu este ceva nou pentru directori de a stabili prețuri la nivelul costurilor sau chiar sub acest nivel în perioadele dificile.

Proiecte mari

Multe din cele arătate despre planificarea agregată în ateliere cu comandă se aplică și la sistemul de proiecte unicat, de mare amploare. Totuși, există o diferență substanțială și anume că responsabili acestor proiecte mari pot să prevadă încărcarea pe termen apropiat, datorită dimensiunii proiectelor. Planificarea și programarea proiectului sînt, într-un sens, o planificare și programare agregată. Întregul proiect și toate activitățile componente se planifică o singură dată (vezi cap. 8, despre planificare în rețea). Asemenea programe pot cere încărcări prevăzute pentru 1—2 ani în avans. Aceste încărcări nu reprezintă previziuni ale cererii, ci cereri reale pentru lucrarea contractată.

Tehnicile de nivelare a încărcărilor în programarea în rețea discutate sub titlul „Desfășurarea resurselor“, sînt de fapt încercări de reducere a efectelor fluctuației încărcării asupra costului, sau a ceea ce am numit în modelele de planificare agregată din acest capitol „Costuri ale fluctuației producției“.

Rezumat

Planurile și programele agregate sînt de cea mai mare importanță pentru conducerea producției și a proceselor, deoarece prin aceste planuri conducerea are la dispoziție principalele resurse. Aceste resurse pot fi utilizate în mod eficient sau mai puțin eficient. Atenția conducerii superioare este concentrată asupra celor mai importante aspecte ale acestui proces de utilizare, cum sînt nivelul forței de muncă, nivelul producției și nivelul stocurilor. Dacă planurile de bază se pot sprijini pe decizii în aceste domenii, care stabilesc limitele de operare, se poate merge mai departe cu planificarea și programarea detaliată a operațiilor.

Am discutat structura problemei planificării agregate și un număr de procese de decizie desemnate să satisfacă necesitățile planificării

agregate. În momentul de față probabil că cele mai folosite sînt metodele grafice. Metodele matematice, euristice și de căutare cu ajutorul calculatorului au fost dezvoltate în încercarea de a îmbunătăți metodele tradiționale prin dinamizarea procesului, căutarea optimului și luarea în considerare a naturii reale a problemei ce cuprinde mai multe etape. Mai multe modele și-au adus contribuția, în special ca pași spre modele mai utile care reprezintă mai bine realitatea. Cel mai important a fost fără îndoială RDL-ul. În prezent, se pare că cele care oferă cele mai mari promisiuni sînt metodele euristice și de căutare cu ajutorul calculatorului, datorită flexibilității mai mari în reprezentarea costurilor care apar efectiv în cadrul organizațiilor. Deși unele din metodele matematice produc soluții optime, trebuie să ne amintim că cel care este optimizat este modelul. Corespondența în realitate a modelului este și ea optimizată numai dacă modelul reproduce fidel realitatea. Metodele euristice și de căutare cu ajutorul calculatorului sînt numai prin natura lor axate pe căutarea optimului; ele nu cer neapărat formulări strict matematice în model și pot deci să copieze practic realitatea în modelele de cost. La urma urmelor, ceea ce dorim să optimizăm este situația reală și nu modelul.

Extinderea metodologiei RCD la structura activității nelegate direct de producție de la Laboratorul de cercetare, este încurajatoare pentru dezvoltarea aspectelor generale din domeniul conducerii producției și a operațiilor. Marea complexitate a modelului de cost la Laboratorul de cercetare și extinderea posibilă a numărului de variabile de decizie independente la 19, arată capacitatea crescîndă a metodologiei de căutare cu ajutorul calculatorului de a reprezenta realist situațiile de conducere.

Întrebări recapitulative

1. Caracterizați termenul „planificare agregată”. Ce se înțelege prin „agregată”? Care sînt obiectivele planificării agregate? Care sînt intrările cerute?

2. Situați planificare agregată în contextul noțiunii de „orizont de planificare”. Care este orizontul de planificare indicat pentru planificarea agregată?

3. Discutați componentele semnificative ale costului, implicate în deciziile de planificare agregată.

4. Descrieți un sistem de decizie într-o singură etapă pentru planificarea agregată. În ce condiții ar fi indicat un asemenea sistem?

5. Descrieți un sistem de decizie în mai multe etape pentru planificarea agregată. În ce condiții ar fi indicat un asemenea sistem?

6. Descrieți metodele grafice pentru planificarea agregată. Cum ar trebui utilizate acestea pentru produse multiple?

7. Evaluați metodele grafice de planificare agregată.

8. Descrieți metodele coeficientului optim de reacție în planificarea agregată. Care sînt variabilele principale sub controlul conducerii în metodele coeficientului de reacție ?
9. Descrieți cum se obține optimizarea în metodele coeficientului de reacție. Ce costuri se minimizează ?
10. Evaluați metodele coeficientului de reacție în planificarea agregată.
11. Descrieți RDL. Ce componente ale costului sînt minimizate în acest model ?
12. Caracterizați rezultatele aplicării RDL la fabrica de vopsele.
13. Evaluați RDL ca sistem de decizie în planificarea agregată.
14. Evaluați metodele distributivă și simplex ale programării lineare ca modele de decizie în planificare agregată.
15. Prin ce diferă modelul coeficienților de conducere față de RDL ? Care este eficiența modelului coeficienților de conducere comparativ cu RDL ?
16. Descrieți funcționarea PPP ca sistem de decizie în planificarea agregată. Care este eficiența sa, comparată cu programarea lineară și RDL ?
17. Care sînt diferențele între RCD și RDL, ca sisteme de decizie ? Care sînt avantajele și dezavantajele fiecăruia ?
18. Comparați complexitatea modelului de cost al întreprinderii cercetate cu cel al fabricii de vopsele.
19. Dacă s-ar fi aplicat modelul RDL la întreprinderea cercetată, care credeți că ar fi fost rezultatele, comparativ cu cele obținute cu RCD și prezentate în fig. 17.11 și 17. 12 și tabelul 17.VI ?
20. În ce constă valoarea planificării agregate cu descentralizarea rezultatelor la ieșire, așa cum este descrisă în aplicarea RCD la Laboratorul de cercetare ?
21. Evaluați RCD ca proces de decizie în planificarea agregată.
22. Descrieți planificarea agregată în organizațiile care produc produse sau servicii pe bază de comandă. Apreciați că satisfacerea cererii variabile în acest fel de organizații se poate face prin fluctuația de personal, sau prin stabilizarea forței de muncă ? De ce ?
23. De ce pentru proiecte unicat de mare amploare un plan-rețea este echivalentul unui plan agregat ?

PROBLEME

1. Dîndu-se un număr de control de 0,6, o fluctuație descrescătoare a cererii de 600 unități în prima perioadă și un nivel previzional al producției de 15 000 unități în perioada a treia, care ar fi cantitatea revizuită de produs stabilită pentru perioada a treia ? (Datorită decalărilor de timp, nu este posibilă ajustarea nivelului producției pentru perioada a doua).
2. O întreprindere fabrică un singur produs, pentru care se dă în tabelul care urmează o listă a cererii previzionale și realizate (în unități) pe un an de zile.

<u>Luna</u>	<u>Cerere previzională</u>	<u>Cerere realizată</u>
Ianuarie	23 000	23 000
Februarie	24 000	25 000
Martie	21 000	20 000
Aprilie	23 000	22 000
Mai	20 000	22 000
Iunie	19 000	24 000
Iulie	17 000	22 000
August	14 000	15 000
Septembrie	8 000	6 000
Octombrie	10 000	13 000
Noiembrie	9 000	10 000
Decembrie	10 000	14 000
TOTAL	198 000	216 000
MEDIE	16 500	18 000

Stocul inițial este de 15 000 unități. Stocul final dorit este de 20 000 unități. Costul de depozitare este de 1 \$ pe unitate pe lună. Pentru schimbarea producției de la 0 la 3 000 unități, este nevoie de 1 000 \$, iar pentru o schimbare de la 3 000 la 6 000 unități de 3 000 \$. Nu sînt posibile într-o perioadă schimbări mai mari de 6 000 unități. Sînt permise comenzi neonorate la un cost de penalizare de 5\$ pe unitate și pe perioadă.

(a) Care este cel mai bun plan de producție pentru cererea previzională dacă se urmărește minimizarea costurilor aferente ?

(b) Presupunînd că anul s-a terminat, care este cel mai bun plan de producție pentru cererea efectivă, utilizînd experiența acestui an ?

(c) Pentru corectarea abaterilor în cererea efectivă față de cererea previzională, analizați alegerea unui număr de control de 0,25 față de unul de 0,75. Presupuneți că la sfîrșitul unei luni există timp suficient pentru modificarea producției planificate pentru luna următoare.

(d) Care ar fi efectul în ce privește costul acestor două numere de control, dacă se formulează următoarele cerințe suplimentare :

- (1) Determinați schimbarea producției planificate
- (2) Adunați sau scădeți modificarea suplimentară datorată erorii de previziune modificate de numărul de control corespunzător
- (3) Dacă modificarea totală este mai mică sau egală cu 1 500, nu modificați nivelul producției
- (4) Dacă modificarea totală este mai mare decît 1 500, dar nu mai mare decît 4 500, modificați nivelul producției cu 3 000 unități.
- (5) Dacă modificarea totală este mai mare de 4 500, modificați nivelul producției cu 6 000 unități
- (6) Scădeți nivelul producției rezultat conform operațiilor (3), (4) și (5) din modificarea totală indicată prin operația (2) și adunați sau scădeți rezultatul la modificarea planificată a producției pe două luni înainte.

3. Următoarele date reprezintă necesarul proiectat pentru producția unui aparat de fotografiat cu un preț mijlociu, ca și necesarul stocului tampon și zilele disponibile pentru producție în fiecare lună.

Proiectați un grafic al necesarului cumulat și al necesarului maxim cumulat pe un an, reprezentînd pe axa orizontală zilele de producție cumulate și pe axa verticală necesarul cumulat în unități.

<u>Luna</u>	<u>Necesar de producție</u>	<u>Stocuri tampon necesare</u>	<u>Zile producție</u>
Ianuarie	3 000	600	22
Februarie	2 500	500	18
Martie	4 000	800	22
Aprilie	6 000	1 200	21
Mai	8 000	1 600	22
Iunie	12 000	2 400	21
Iulie	15 000	3 000	21
August	12 000	2 400	13
Septembrie	10 000	2 000	20
Octombrie	8 000	1 600	23
Noiembrie	4 000	800	21
Decembrie	3 000	600	20
	<u>87 500</u>	<u>17 500</u>	<u>244</u>

4. Utilizând datele problemei 3, comparați totalul costurilor variabile necesitate de : nivelul producției, un plan care urmează aproape exact necesarul maxim și un plan intermediar oarecare. Capacitatea normală a fabricii este 400 unități pe zi lucrătoare. Se poate obține un plus de 20% prin ore suplimentare, cu un cost suplimentar de 10 \$ pe unitate. Costul de menținere a stocului este 30 \$ pe unitate și pe an. Modificările nivelului producției costă 5 000 \$ pentru 10 unități în producție. Se poate obține capacitate suplimentară prin subcontractarea anumitor piese cu un cost de 15 \$ pe unitate. Stocul inițial este de 4 000 unități.

5. *Joc de control al producției.* Sînteți directorul de producție al unei întreprinderi care produce un singur produs. Fabrica dumneavoastră are capacitate nelimitată în cadrul nivelului de vânzări potențiale. Comenzile pentru produs variază de la perioadă la perioadă și este răspunderea dumneavoastră să construiți un plan de producție care va asigura livrările în fiecare perioadă din stocul disponibil. Scopul planului este minimizarea costurilor anuale totale pentru menținerea stocurilor pentru nerealizarea livrărilor comandate la timp și modificarea nivelelor producției.

Pentru că modificarea nivelului producției necesită un anume timp, există un interval de o perioadă între momentul luării unei decizii și cel în care modificarea devine efectivă. Astfel, o decizie luată la sfîrșitul primei perioade se aplică în timpul celei de a doua. Orice modificare în nivelul producției trebuie exprimată în loturi de mii-cutii și nu poate fi mai mică de 5 000 cutii și mai mare de 10 000 cutii. Producția suplimentară se depozitează în magazinele fabricii, cu o capacitate maximă de 240 000 cutii. Stocurile peste această cantitate trebuie depozitate în magazine exterioare contra unui cost suplimentar.

La începutul anului se prezintă următoarea situație :

(a) Stocul de început trebuie să fie indicat de conducătorul jocului

(b) Media livrărilor efective : 100 000 cutii/perioadă cu următoarea distribuție aproximativă : (1) în 76% din cazuri, livrările vor fi între 70 000 și 130 000 cutii pe perioadă și (2) în 96% din cazuri, livrările vor fi între 50 000 și 150 000 cutii pe perioadă.

(c) Pentru o modificare a nivelului producției, indiferent de mărimei ei, se cheltuiesc 5 000 \$.

(d) Se înregistrează un cost de menținere a stocului de 200 \$ pe an pentru fiecare 1 000 cutii de stoc mediu. În plus, fiecare 1 000 cutii depozitate în afară costă 500 \$ pe an.

(e) Se aplică o taxă de 750 \$ pe perioadă pentru fiecare 1 000 cutii comandate, care nu pot fi livrate datorită stocului insuficient (coeficient de comenzi neonorate de 100%).

(f) Fabrica se închide pentru concedii pe timpul perioadei a 13-a. Continuă să fie livrate comenzi, deși producția este zero.

1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
Număr de ordin al perioadei de 15 zile	Stoc inițial (mii)	Nivel al producției (mii)	Stoc inițial disponibil al perioadei + producția perioadei precedente (mii)	Comenzi în perioadă, extrase din distribuția de comenzi (mii)	Stoc final disponibil comenzi (mii)	Stocuri excedentare peste 240 (mii)
0		90				
1	300	90	390	70	320	80
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13		Concediu				
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

Fig. 17.13. Fișă pentru jocul de producție și control stocuri.

Mod de lucru. Figura 17.13. reprezintă fișa de lucru utilizată. Stocul inițial la momentul începerii jocului în prima perioadă va fi indicat de către conducătorul jocului.

(a) Treceți cifra furnizată de conducător, reprezentând stocul inițial pe rândul 1 coloana 2.

(b) Stabiliți nivelul inițial al producției pentru perioadele 0 și 1 și treceți-le în coloana 3.

(c) Calculați „disponibilul” (col. 4), suma stocului inițial (col. 2) pentru perioadă, plus „producția” (col. 3) pentru perioada precedentă.

(d) Decideți asupra nivelului producției în perioada următoare prin trecerea cantității (în col. 3) pentru perioada 2.

(e) Înregistrați „comenzile pentru perioada 1” în col. 5. Această cifră va fi dată de conducătorul de joc și reprezintă o mostră Monte-Carlo din distribuția cererii. Ca exemplu, în fig. 17.13 se indică pentru comenzile din perioada 1 cifra 70.

(f) Calculați „stocul final” (col. 6) prin scăderea comenzilor pentru perioadă din totalul disponibil pentru perioadă.

(g) Calculați „stocul excedentar” (col. 6), scăzând 240 din stocul final al perioadei. Pe exemplul dat în fig. 17.13, acest stoc suplimentar ce va fi depozitat în afara fabricii, cu un cost suplimentar, de 80.

(h) Transferați cifra stocului final în col. 2 „stoc inițial” pentru perioada următoare.

(i) Repetați procedura pentru 26 de perioade, având grijă să luați în considerare concediul din perioada 13, când nu se realizează producție, dar se expediază marfă. Dacă într-o perioadă, comenzile depășesc disponibilul, înregistrați stocul final negativ și stocul inițial negativ pentru perioada următoare. Aceasta ține seama de principiul cu 100% comenzi neonorate.

(j) Pe baza experienței câștigate în prima desfășurare a jocului, încercați să reduceți costurile variabile anuale în a doua desfășurare.

(k) Prezentați sumar regulile de decizie care credeți că ar putea fi indicate pentru obținerea celor mai reduse costuri variabile totale anuale.

Bibliografie

- [1] Anshen, M., C. C. Holt, F. Modigliani, J. F. Muth, H. A. Simon. „Mathematics for Production Scheduling.” *Harvard Business Review*, pp. 51—58, Mar-Apr. 1958.
- [3] Bowman, E. H. „Consistency and Optimality in Managerial Decision Making.” *Management Science*, IV (1), 100—103, Ian. 1963.
- [3] Bowman, E. H., „Production Scheduling by the Transportation Method of Linear Programming.” *Operations Research*, IV (1), 100—103, Feb. 1956.
- [4] Buffa, E. S. „Aggregate Planning for Production.” *Business Horizons*, Fall 1967.
- [5] Buffa, E. S. *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1968.
- [6] Buffa, E. S., W. H. Taubert. „Evaluation of Direct Computer Search Methods for the Aggregate Planning Problem.” *Industrial Management Review*, Fall 1967.
- [7] Eiseman, K., W. M. Young. „Study of a Textile Mill with the Aid of Linear Programming.” *Management Technology* (1), 52—63, Ian. 1960.
- [8] Fabian, T. „Blast Furnace Production—A Linear Programming Example.” *Management Science*, 14 (2), Oct. 1967.
- [9] Fetter, R. B. „A Linear Programming Model for Long-Range Capacity Planning.” *Management Science*, 7 (4), 372—378, Iulie 1961.
- [10] Gordon, J. R. M. *A Multi-Model Analysis of an Aggregate Scheduling Decision*. Ph. D. Dissertation, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, 1966.
- [11] Greene, J. U., K. Chatto, C. R. Hicks, C. B. Cox. „Linear Programming in the Packing Industry.” *Journal of Industrial Engineering*, X (5), 364—372, 1959.
- [12] Hanssman, F., S. W. Uess. „A Linear Programming Approach to Production and Employment Scheduling.” *Management Technology* (1), 46—52, Ian. 1960.
- [13] Holt, C. C., F. Modigliani, J. F. Muth. „Derivation of a Linear Decision Rule for Production and Employment.” *Management Science*, II (2), 159—177, Ian. 1956.
- [14] Holt, C. C., F. Modigliani, J. F. Muth, H. A. Simon. *Planning Production, Inventories and Work Force*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1960.
- [15] Holt, C. C., F. Modigliani, H. A. Simon. „A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling.” *Management Science*, II (2), 1—30, Oct. 1955.
- [16] Hooke, R., T. A. Jeeves. „A «Direct Search» Solution of Numerical and Statistical Problems.” *Journal of the Association for Computing Machinery*, Apr. 1961.

Programarea și controlul operațiilor

Amintiți-vă fig. 17.1 în care legam planurile pe termen scurt, mediu și lung de orizonturile de planificare în timp. Planurile agregate despre care am discutat în capitolul precedent se materializau în decizii ferme pentru perioadele următoare privind nivelul de utilizare a forței de muncă și al volumului producției. În cadrul planificării agregate se puteau proiecta decizii pentru mai multe perioade viitoare. Pentru deciziile ferme luate pentru perioada următoare se mai pune problema implementării planului agregat, prin planuri detaliate și programe de utilizare a forței de muncă și a capacităților de producție. Natura planificării detaliate și problema programării operative este întrucâtva diferită la sistemele continue față de cele discontinue. De asemenea, printre sistemele discontinue proiectele mari au o poziție aparte. Vom organiza prezentarea programării operative și controlului operațiilor ținând seama de cele de mai sus.

Programarea operativă și controlul pentru sisteme continue

S-ar putea crede că odată cu planificarea agregată s-a realizat și programarea operativă. La urma urmelor, sistemele continue sînt caracterizate prin linii de producție și procese chimice continue, iar succesiunea operațiilor și legăturile dintre ele au fost suficient de bine determinate la proiectarea sistemului fizic, care lucrează ca o mașină uriașă. După ce s-a stabilit nivelul producției, înlănțuirea și secvența operațiilor sînt deja fixate de proiectul sistemului. Nu cumva problema programării detaliate a fost deja rezolvată prin proiectarea sistemului?

Intr-un fel, aceasta este adevărat, dar și după adoptarea deciziilor planificării agregate privind nivelul producției și al forței de muncă rămîn încă probleme importante de rezolvat.

Mai întîi, cum determinăm cantitățile ce urmează a fi fabricate din fiecare produs? Planul agregat a specificat un nivel global de producție, dar de fapt acest total general trebuie alocat pe diverse mărimi și tipuri de articole care se produc. În al doilea rînd, s-ar putea ca planul agregat să solicite o schimbare în mărimea forței de muncă. Aceasta trebuie să conducă la o reechilibrare a mijloacelor, cu modificarea atribuțiilor de lucru pentru echipă. Deci, în timp ce planul agregat a specificat modi-

ficarea cantitativă în mărimea forței de muncă, rămâne încă problema materializării acestei schimbări în modalitatea cea mai indicată, cu alte cuvinte, care muncitori și cu ce calificări sint implicați? Dacă planul agregat a indicat o reducere a personalului, acordurile sindicale ar putea specifica cine va fi concediat. În al treilea rând, combinarea deciziilor de



Fig. 18.1. Retipărită prin bunăvoința Secției Helipot, de la Beckman Instruments, Inc.

dimensionare a forței de muncă, de stabilire a nivelului producției, determină mărimea orelor suplimentare și a orelor nefolosite. Cum vor fi acestea alocate pe produse și mână de lucru? Și în al patrulea rând, concordă nivelele de stocuri care rezultă din programarea detaliată propusă cu nivelele din planificarea agregată și cu procedurile și politicile stabilite pentru fiecare articol în parte?

Problema sortimentului producției

Efectul unei decizii de planificare agregată privind nivelul forței de muncă și al producției, cu specificarea care rezultă pentru numărul de ore suplimentare permise în cursul perioadei, constă în ajustarea capa-

cității efective a sistemului pentru perioada următoare. Cu alte cuvinte, au fost stabilite limitele de capacitate, creîndu-se un set de restricții pentru capacitate, care trebuie respectate de programarea detaliată. Astfel, alocarea capacității limitate pe tipuri și dimensiuni de produse devine o problemă economică importantă. Problema sortimentului producției poate fi foarte complicată în industria chimică; spre exemplu, la rafinarea țițeiului, unde există interdependențe între cantitățile de diferite produse care pot fi obținute. Dacă un produs trebuie obținut în cantități mai mari, spre exemplu benzina de avion, atunci prin însăși natura procesului de rafinare, să se obțină cantități mai mici din alte produse. Rentabilitatea diverselor produse poate fi diferită și pentru fiecare există limite impuse de piață. Rezultată o problemă complexă de programare pentru determinarea celui mai bun sortiment de produse. Interdependența există totdeauna la rafinarea petrolului, de exemplu, datorită faptului că materia primă de bază, țițeiul crud, poate fi transformat în foarte multe produse și o creștere sau descreștere a cantității dintr-un produs atrage totdeauna după sine și o schimbare a cantităților în unele din celelalte produse. În industriile mecanice interdependențele dintre produse sînt limitate mai curînd prin limitele de capacitate impuse de deciziile de planificare agregată și în unele cazuri de capacitatea utilajelor folosite în comun pentru a produce o întreagă varietate de tipuri și dimensiuni. În toate cazurile, sîntem puși în fața unei probleme de alocare, de utilizare optimă a capacității limitate de care dispunem. Aceste probleme de sortimentare a producției au fost abordate cu ajutorul programării lineare, așa cum s-a prezentat în cap. 4. În practica actuală se ignoră de obicei problema alocării și se determină sortimentul prin aplicarea cifrelor procentuale de vânzări cu modificări bazate pe aprecieri personale.

Programarea operativă

Procedura generală de întocmire a programelor detaliate în sistemele continue este prezentată în fig. 18.2. Ea arată că la elaborarea planului agregat s-a realizat deja o optimizare pe scară largă, astfel că el (planul) devine o restricție ce trebuie respectată de programarea operativă. Odată cunoscute intrările, diagrama ridică o serie de întrebări succesive privitoare la schimbările în nivelul forței de muncă, utilizarea timpului suplimentar, subcontractarea, stocurile, și dacă programele rezultate se încadrează în reglementările sindicale de muncă. Procesul de programare operativă privește planul agregat ca pe o restricție, utilizînd avantajos gradul de flexibilitate rămas, pentru a încerca soluții ale unei programări practice. Cînd planul agregat cere o modificare în nivelul forței de muncă, alocarea forței de muncă rezultată trebuie reechilibrată. În cazul unor linii complexe de montaj se pot utiliza metodele și procedurile de echilibrare a liniilor tehnologice discutate în cap. 11.

Rezultatul întregului proces poate să conducă la programări pe două sau trei perioade de timp, așa cum se arată în fig. 18.2. Programul zilnic

indică distribuirea produselor pe utilaje, cantitățile de fabricat din fiecare produs și alocarea forței de muncă. Un program similar poate fi conceput pe o săptămână înainte și, în general, pentru o perioadă de plan înainte privitor la articolele de fabricat, orele de lucru, stocurile și livrările. Gordon [14] prezintă un studiu al procesului de programare deta-

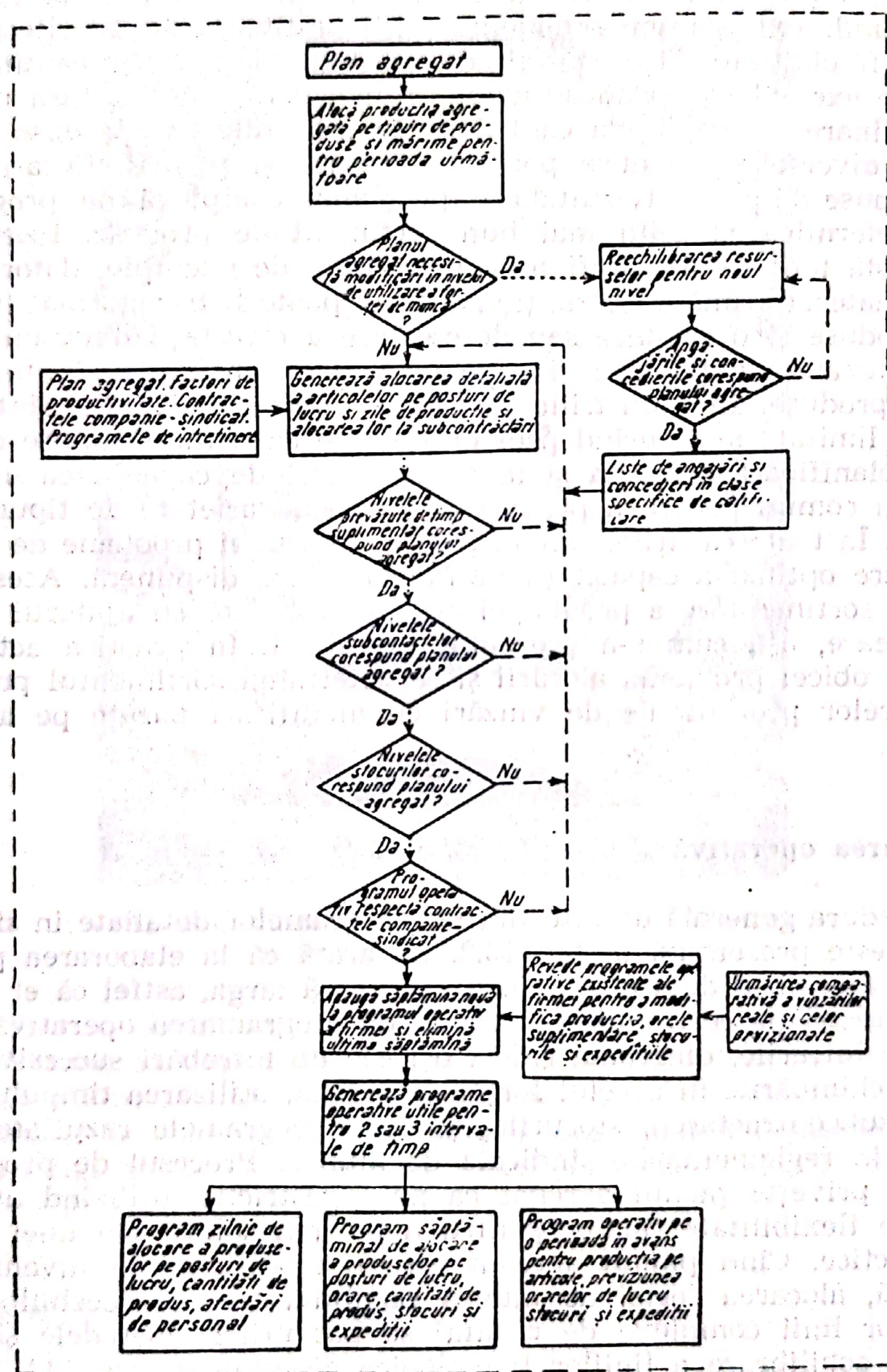


Fig. 18.2. Schema programării detaliate a operațiilor pentru sisteme continui (după [5, p. 216]).

liată într-o fabrică de bere, care se încadrează în linii mari în schema din fig. 18.2.

Procesul de programare operativă prezentat în fig. 18.2 este desigur suboptimal. Deși fazele de planificare agregată ar putea utiliza o procedură de optimizare la nivelul de planificare generală, procesul iterativ care urmează ar putea conduce la planuri și programe detaliate care nu sînt cele mai bune. Presupunem că în unele privințe, posibilitățile noastre tehnice se vor îmbunătăți pînă acolo, încît programele agregate și detaliate să poată fi combinate într-un model „de căutare a optimului”.

De fapt, modelul Laboratorului de cercetare la care ne-am referit în capitolul precedent, cu ieșirea specificînd alocările și planurile pentru patru resurse diferite în trei servicii distincte, este un pas în direcția combinării planurilor și programelor agregate cu cele detaliate într-o procedură de optimizare. Un asemenea model realizează planificarea agregată și oferă o ieșire dezagregată a rezultatelor, iar toate restricțiile și costurile sînt ponderate în mod egal în întregul model.

Controlul producției

Așa cum s-a arătat în cap. 15, controlul producției implică controlul cantităților de produse, controlul calității și controlul costurilor, care toate sînt corelate între ele. Fazele de control privind întreținerea, calitatea și costurile sînt discutate separat în cap. 19—22. La acest punct vrem totuși să comentăm controlul cantitativ al producției.

Este relativ simplu să se proiecteze un sistem informațional care furnizează conducerii operativ și exact cantitățile produse în comparație cu planul. Cînd apar abateri importante de la plan, conducerea poate acționa în principal prin modificarea zilnică a orelor lucrate. Asemenea abateri mari de la plan nu pot fi de obicei ajustate pe termen scurt, ci trebuie să constituie o intrare pe perioada imediat următoare de planificare agregată ca un suport de stocuri prea mari sau prea mici.

Programarea operativă și controlul pentru sisteme discontinue

Așa cum s-a discutat în cap. 15, există trei tipuri obișnuite de sisteme discontinue: ateliere închise care produc articole pe stoc, ateliere deschise care produc articole pe comandă și proiecte-unicat de mare amploare. Primele două tipuri pot fi analizate împreună în ce privește programarea operativă și urmărirea operațiilor, pentru că circuitul fizic și problema controlului sînt aceleași pentru ambele. Deoarece fiecare comandă individuală trebuie separată și tratată ca o entitate, sistemele de programare operativă și control pentru ateliere sînt adesea numite sisteme de control al comenzilor. Problema constă în conceperea unor proceduri de planificare, programarea operativă și control potrivite si-

tuației, în care fiecare comandă lansată la un moment dat poate avea o secvență de prelucrare aparte, cu timpi de prelucrare specifici și termene unic determinate.

Controlul comenzilor

Pentru a controla fluxul de lucru într-un sistem de control pe comandă, trebuie să alcătuim câteva planuri detaliate, să programăm comanda, să o distribuim pe diverse operații în concordanță cu un set de reguli de decizie și cu cele din urmă să urmărim desfășurarea lucrării pentru a fi siguri că se respectă programarea.

Documente de atelier și planuri. Comenzile pentru piesele sau produsele care se execută prima oară trebuie analizate pentru a se determina planul de fabricație, adică ce operații vor fi executate, succesiunea lor, cerințe de SDV-uri și tehnologia de fabricație. Am parcurs deja detaliile acestei activități în cap. 7, 9, 11, 12, 13 și 14. Dacă piesa sau produsul au mai fost executate, trebuie să fie disponibile pentru refolosire fișele tehnologice standard. Dar aceasta este numai o parte a pregătirii necesare. Se obișnuiește să se pregătească comenzi de atelier, cereri de materiale, schițele pieselor, comenzi de transport în atelier, fișe de identificare, cereri de scule, note de transfer, note de rebut, bonuri de lucru și cartele de urmărire a lucrării. Un exemplu al circuitului acestor diverse planuri și documente de atelier se prezintă în fig. 18.3.

Programarea comenzilor. Deoarece comenzile individuale pot cuprinde diferite produse, standardizarea la proiectarea unor piese și repere, face adesea posibilă realizarea de economii prin combinarea comenzilor pentru piese și subansamble identice. Structura unor astfel de familii de piese și componente este scoasă în evidență de diagramele matriciale și tehnicile matematice adecvate (vezi [26], cap. 13). Tabelul 18.1 prezintă o astfel de diagramă matricială, care cuprinde numărul de piese și subansamble care compun subansamblele, respectiv produsele finite. Astfel, necesarul de piese și subansamble poate fi adunat pentru toate produsele finite și se poate obține un avantaj prin dimensionarea de loturi economice de aprovizionare și fabricație.

În elaborarea unui program pentru un produs rezultat din montaj, trebuie să mergem înapoi, de la termenul de predare a produsului finit, utilizând conceptul general de diagramă de programare.

Diagrama de programare ia în considerare structura de bază a montajului, subansamblele, fabricarea pieselor, procurarea materialelor etc. și le raportează la o scară a timpului. Figura 18.4 este un exemplu de diagramă de programare pentru un produs asamblat. Începînd cu primirea comenzii de la beneficiar, diagrama de programare indică timpii programați în care trebuie să ne încadrăm la diferite stadii de planificare și programare, procurare de materiale, fabricare a pieselor, montaj al subansamblelor și montajul produsului finit, astfel încît produsul să poată fi expediat la data fixată. Pentru un produs complex, de exemplu, un avion, o rachetă sau un dispozitiv electronic complicat, asemenea dia-

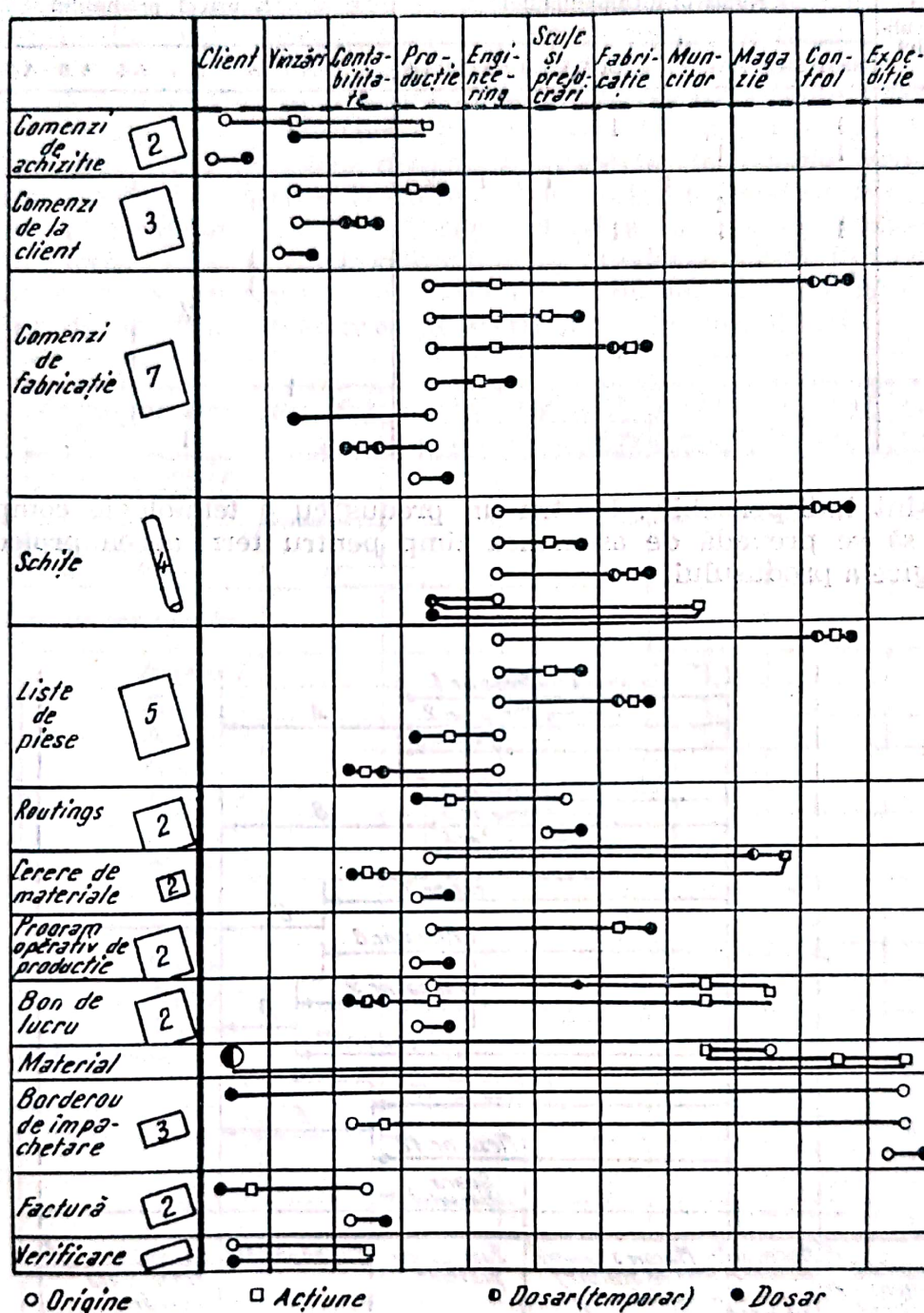


Fig. 18.3. Fluxul documentelor într-o procedură de control al producției (prin amabilitatea prof. John G. Carlson, University of Southern California).

Tabelul 18.1. Tabel matricial cu piesa și subansamble comune care intră în subansamble și produse finite

Numărul piesei sau sub- ansamblului	Numărul subansamblului								Numărul produsului							
	SA-1	SA-2	SA-3	SA-4	SA-5	SA-6	SA-7	SA-8	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
1	1	1			1					1						
2	1		1								1					
3				1		1	1	2					1			
4			4								1					
5	1		1		1						1			1		2
SA - 1									1		1					1
SA - 2											1					
SA - 3												2				
SA - 4													1			
SA - 5													1			
SA - 6										1			1			
SA - 7													1			1
SA - 8												1		1		

grame sînt indispensabile. Pentru un produs cu o tehnologie complexă trebuie să se prevadă de asemenea timp pentru terminarea proiectării tehnologice a produsului.

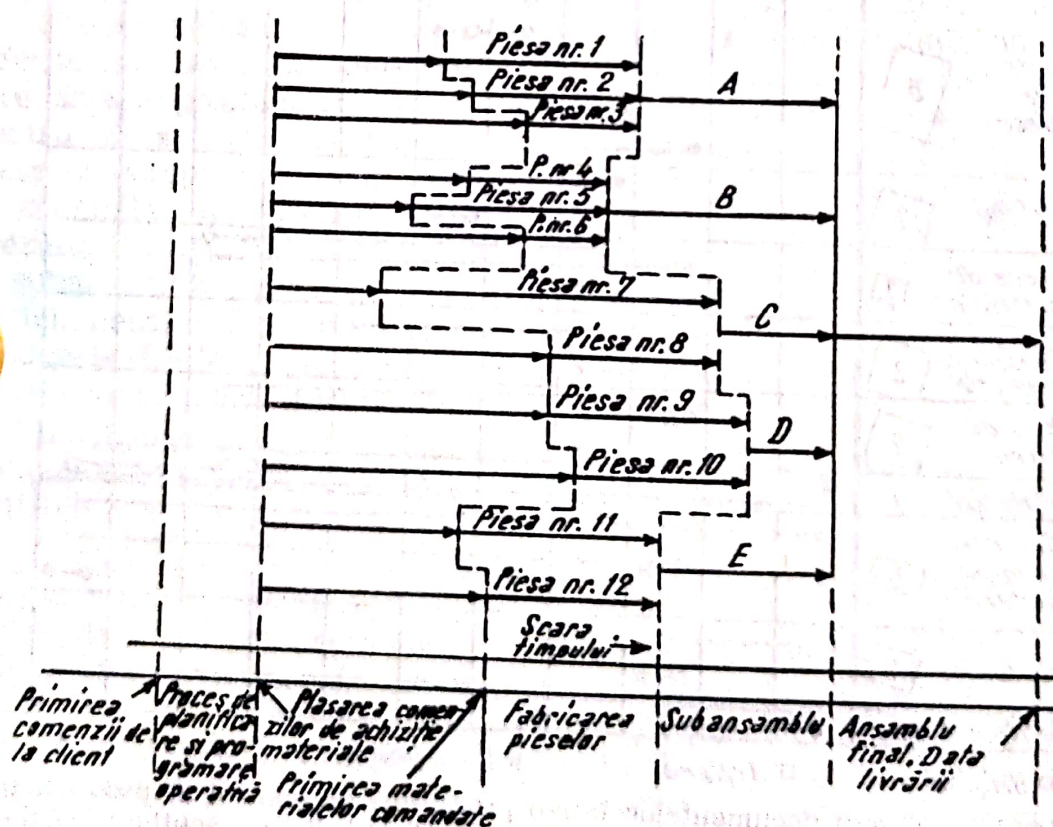


Fig. 18.4. Diagrama unui program operativ pentru un produs asamblat A, B, C, D și E sînt subansamble compuse din piesele indicate la stînga fiecăruia.

Prin determinarea timpului cerut pentru asamblarea finală, determinăm datele de terminare a subansamblelor. La rândul său, timpul de producere a subansamblelor determină datele de terminare a pieselor fabricate sau achiziționate etc. În fiecare caz, aceste estimări ale necesarului de timp trebuie să ia în considerare timpul efectiv de prelucrare, timpul de transfer și timpul între operații. Acești timpi proiectați în urmă determină momentul când trebuie începută producția și când trebuie plasate comenzile de aprovizionare pentru materiile prime și piesele achiziționate din afară necesare pentru a respecta termenele programate. Programul efectiv referitor la piese, subansamble și produse finite constă de fapt în termenele pentru fiecare etapă a fabricației și montajului.

Graficele Gantt și corespondentele lor moderne ajută furnizarea de informații despre programul operativ de producție. Ele măsoară realizările față de program, încărcarea pe secții și mașini individuale și disponi-

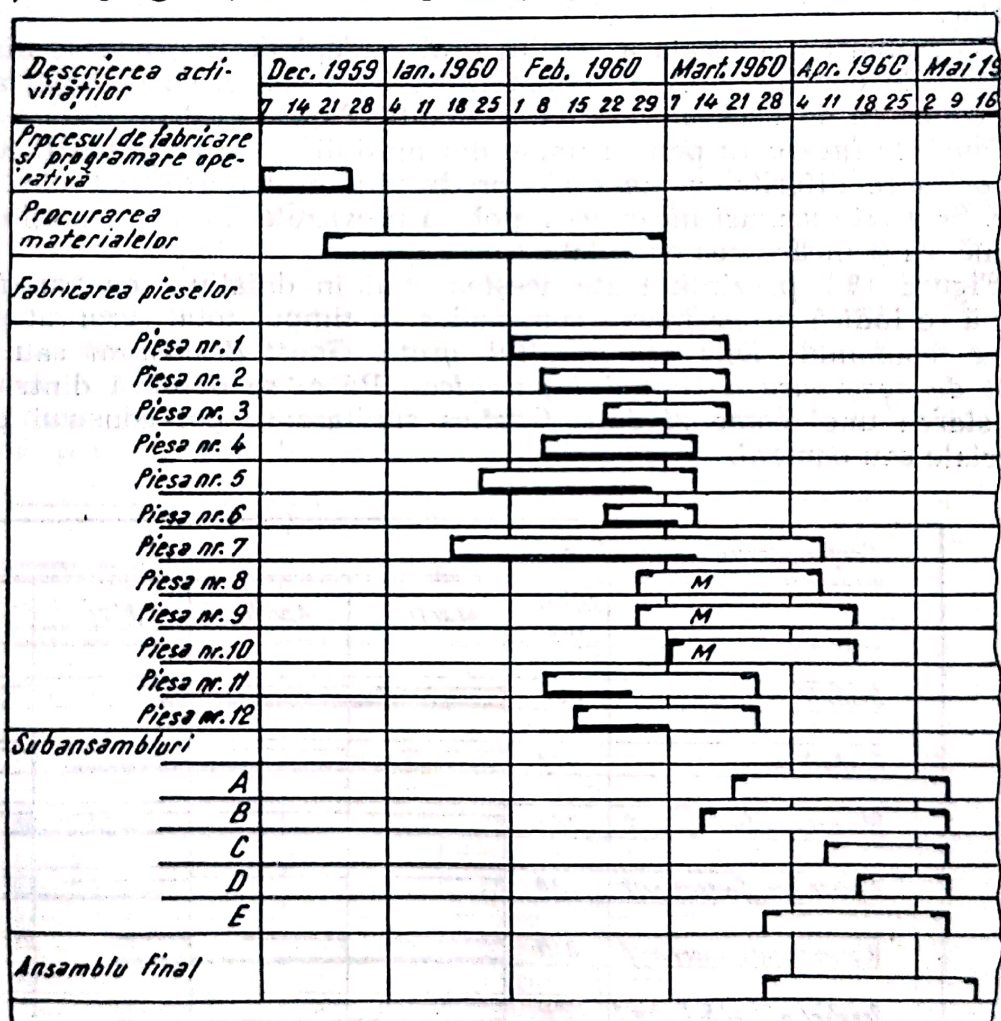


Fig. 18.5. Grafic Gantt pentru un proiect, bazat pe programul din fig. 18.4. La începutul săptămânii 7—12 martie, procurarea materialelor este cu o săptămână în urma programului, astfel încât fabricarea pieselor 8, 9 și 10 a fost întârziată.

bilitățile de utilaj sau forță de muncă. Planul și realizările față de plan sînt reprezentate grafic în raport cu timpul.

Se pot utiliza mai multe feluri de grafice Gantt. Figura 18.5 prezintă un exemplu al unui *grafic Gantt de planificare a proiectului*, care poate fi utilizat pentru reprezentarea unui plan detaliat de atingere a obiectivelor propuse. Este vorba de un plan de fabricare a unui produs asamblat, astfel încît disponibilitățile de piese pentru montaj să fie în concordanță cu duratele necesare pentru fabricație și montaj, așa cum apar în diagrama de programare din fig. 18.4. Observați că montajul final este programat să înceapă în săptămîna de la 28 martie, înainte ca să fie terminate toate subansamblele componente. Acestea vor fi transmise la montajul final pe măsură ce sînt gata. În acest caz, programarea operativă ar putea fi fără îndoială comprimată și mai mult, prin aplicarea acestei scheme de suprapunere și la subansamble, în ce privește fabricarea pieselor.

Programarea generală a acestui proiect depinde în parte de disponibilitățile de oameni, mașini și materiale. Ca urmare, se pot aplica aceleași concepte de bază ale graficului Gantt. Figura 18.6 prezintă un *grafic Gantt de încărcare* pentru unele din mașinile care ar putea fi folosite la fabricarea diferitelor piese ale produsului nostru rezultat din asamblare. Se poate urmări încărcarea globală prevăzută a acestor mașini lună de lună, ca și încărcarea cumulată.

Figura 18.7 prezintă toate acestea mai în detaliu; pentru fiecare mașină se indică programarea comenzilor cu timpul total rezervat pentru fiecare comandă. Este așa numitul *grafic Gantt desfășurat* sau *grafic Gantt de rezervare a timpului planificat*. Pe el se observă dintr-o privire starea unei comenzi date. Grafice similare se pot construi pentru materiale sau oameni.

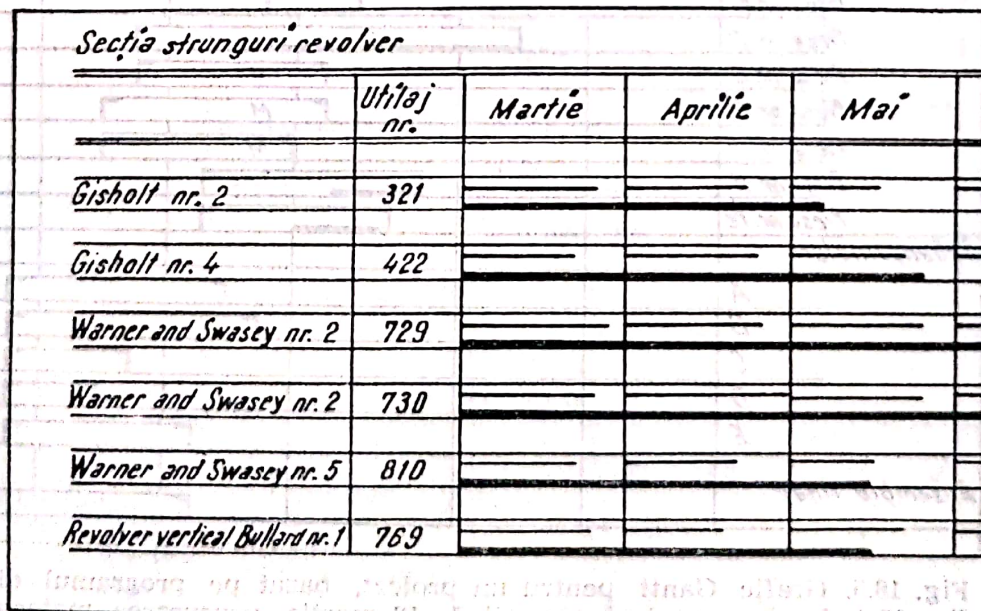
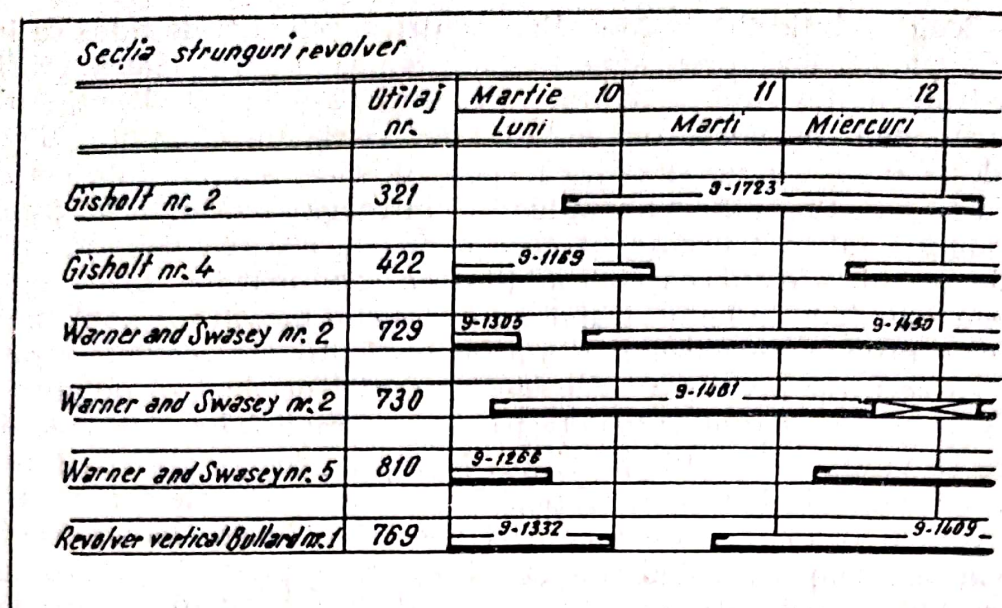


Fig. 18.6. Grafic Gantt de încărcare. Liniile subțiri indică procentul indică

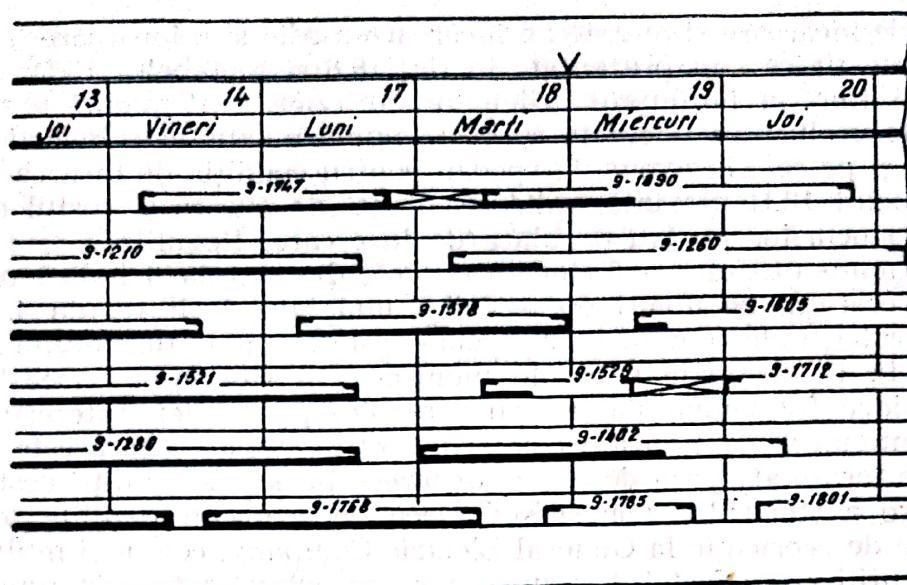


- ┐ Indică data sau ora cînd este programat să înceapă lucrul la o comandă dată
- └ Indică data sau ora cînd este programat să se încheie lucrul la o comandă dată
- Liniiile subțiri indică lucrul programat
- Liniiile groase indică legătura între lucrul realizat și cel programat
- ⊠ Rezervă de timp (timpul necesar pentru a reîntra în program)
- ✓ Ziua curentă

Fig. 18.7. Grafic Gantt desfășurat sau grafic de rezervare a timpului planificat

ratoare de strangulări. Se presupune că orice plan care se încadrează în limitele de încărcare pentru mașinile cheie sau cu strangulări va da probabil rezultate bune și pentru restul mașinilor.

Reguli de decizie pentru alocări de mașini. Termenul de început sau de sfîrșit al fiecărei operații servește adesea ca simplă bază de decizie a priorității, utilizată de maestrul de secție pentru a termina lucrul la timp. Încărcarea pentru fiecare categorie de mașini este măsurată de cozile de așteptare ale lucrărilor sau comenzilor de fabricație. Dacă sistemul de priorități ar lua drept comanda care urmează pe cea cu termenul final cel mai apropiat, s-ar înregistra o continuă reșezare a succesiunii de lucrări, pentru a face loc comenzilor abia primite de la un alt centru de lucru, care ar putea avea termene finale pentru operația respectivă și mai apropiate. Această reșezare nu pune probleme deosebit de grele, dar rămîn alte aspecte supărătoare. Lucrează oare această regulă de decizie mai bine decît alta? Există reguli de decizie mai bune decît cea mai simplă dintre toate, „primul sosit, primul servit”? Testarea în fabrică a diverselor reguli de decizie pe baza priorității, necesită timp îndelungat și ar deranja de asemenea executarea operațiilor prin trecerea continuă de la o regulă de decizie la următoarea. Acesta este domeniul în care simularea pe cal-



culator poate da răspunsuri foarte greu sau imposibil de obținut pe altă cale.

Prima simulare de amploare a regulilor de decizie privind alocarea, a fost făcută de A. J. Rowe la General Electric Company [25]. Rowe a construit un model de simulare integrat al uzinei, a testat șase reguli de decizie diferite și a determinat efectele lor asupra a trei factori care măsoară eficiența uzinei. Aceste jaloane au fost termenii de realizare a lucrărilor față de cei planificați, utilizarea forței de muncă și costurile de menținere a stocurilor. Cele șase reguli de decizie au fost următoarele :

1. *Primul sosit — primul servit.*
2. *Primul sosit — primul servit, în cadrul clasei de prioritate.* Baza priorității a fost valoarea lucrării. S-au utilizat trei clase de valoare : ridicată, medie și scăzută. Lucrările au fost executate în ordinea descrescândă a valorii : întâi cele cu valoare mare, apoi cele cu valoare medie etc.
3. *Regula secvențială.* Această regulă este o funcție matematică complexă care ia în considerare o toleranță de flux, prelucrările rămase de executat și într-un mod indirect, stocurile.
4. *Timpul minim de prelucrare imediată sau timpul minim de operare (TMO).* Această regulă permitea lucrărilor necesitând un timp total scurt să se execute la început, întrucât ele nu afectau sensibil timpul de așteptare al celorlalte lucrări.
5. *Timpul maxim de prelucrare imediată.* Se execută mai întâi lucrările care au timpul de prelucrare cel mai lung.
6. *Data de început cea mai devreme.* Lucrările erau distribuite în ordinea datelor lor de început, cea mai devreme fiind prima sosită.

Modelul de simulare a fost proiectat să acopere echivalentul a 4 luni de activitate a fabricii în 15 minute timp calculator. S-au utilizat două

condiții de încărcare și anume : o încărcare medie și o încărcare intensivă. Rezultatele tipice sînt prezentate în fig. 18.8 și în tabelul 18.II. Regulile 2, 3 și 6 tind să minimeze „zilele de întîrziere“. Regula 4 a timpului minim de prelucrare imediată sporește numărul atît al comenzilor întîrziate, cît și pe cele în avans, în special pentru condiția de încărcare intensivă. Tabelul 18.II prezintă utilizarea forței de muncă și costul de menținere a stocurilor pentru o rulare de încercare. Regulile 3 și 4 asigură cea mai mare utilizare a forței de muncă, dar regula 3 indică un coeficient al costului de menținere sensibil mai bun decît regula 4. Efectul variațiilor largi ale comenzilor întîrziate și în avans în distribuția regulii 4 se reflectă în costurile mari de menținere a stocurilor. Aceasta sugerează o idee fundamentală pentru controlul producției. Interesul nostru este nu numai să minimizăm comenzile întîrziate, ci și ca aceste comenzi să nu fie terminate prea devreme, deoarece în aceste condiții costurile de menținere a stocurilor vor crește. Dacă generalizăm regulile testate și condițiile de fabricație la General Electric Company, cele mai multe reguli indică o utilizare a forței de muncă aproape echivalentă, dar numai regulile 2 și 3 minimizează costul stocurilor. În același mod general se pot testa și alte condiții de încărcare a mașinilor, de sortiment al producției și de variații în condițiile de fabricație.

După studiul lui Rowe de la General Electric, s-au efectuat o mulțime de cercetări asupra regulilor de decizie privind alocarea pe bază de priorități. Prin simularea unor sisteme foarte mari, s-au supus tratărilor un număr extrem de mare de variante [8], [9], [16], [21]. Imaginea generală rezultînd din aceste cercetări arată că alegerea unei reguli depinde într-un fel de aspectele eficienței pe care conducerea dorește să le accentueze. Dacă se pune accentul pe timpul mediu de flux în sistem cu costuri reduse ale stocului de producție neterminată, atunci regula cea mai bună este cea a timpului minim (TMO) [9], [16], [21]. La aplicarea ei apare totuși o dificultate, deși se minimizează timpul mediu de execuție al comenzilor în sistem, varianta timpului de flux este mare și unele comenzi sînt extrem de întîrziate. Aceste rezultate sînt de asemenea ilustrate în primul studiu al lui Rowe, prin eficiența regulii 4 din fig. 18.8.

Tabelul 18.II. Comparația utilizării forței de muncă și a coeficienților costului de menținere a stocului pentru șase reguli de decizie privind alocarea prin simulare pe calculator.

Reguli de decizie privind distribuirea	Utilizarea forței de muncă (%)	Coeficienți ai costurilor de menținere a stocurilor (%)
1. Primul sosit — primul servit	85,6	70,1
2. Primul sosit — primul servit în cadrul clasei de prioritate	85,6	41,9
3. Regula secvențială	88,2	42,4
4. Timpul minim de prelucrare imediată	88,6	72,4
5. Timpul maxim de prelucrare imediată	76,9	53,6
6. Data de început cea mai devreme	85,6	51,1

În cazul în care conducerea pune pe primul plan terminarea comenzilor la timp, atunci se pare că cea mai eficientă este un tip de regulă legată de termenul final, sau regula cea mai simplă, primul sosit — primul servit. [16], [21]. Carroll [8] a făcut experiențe cu o familie de

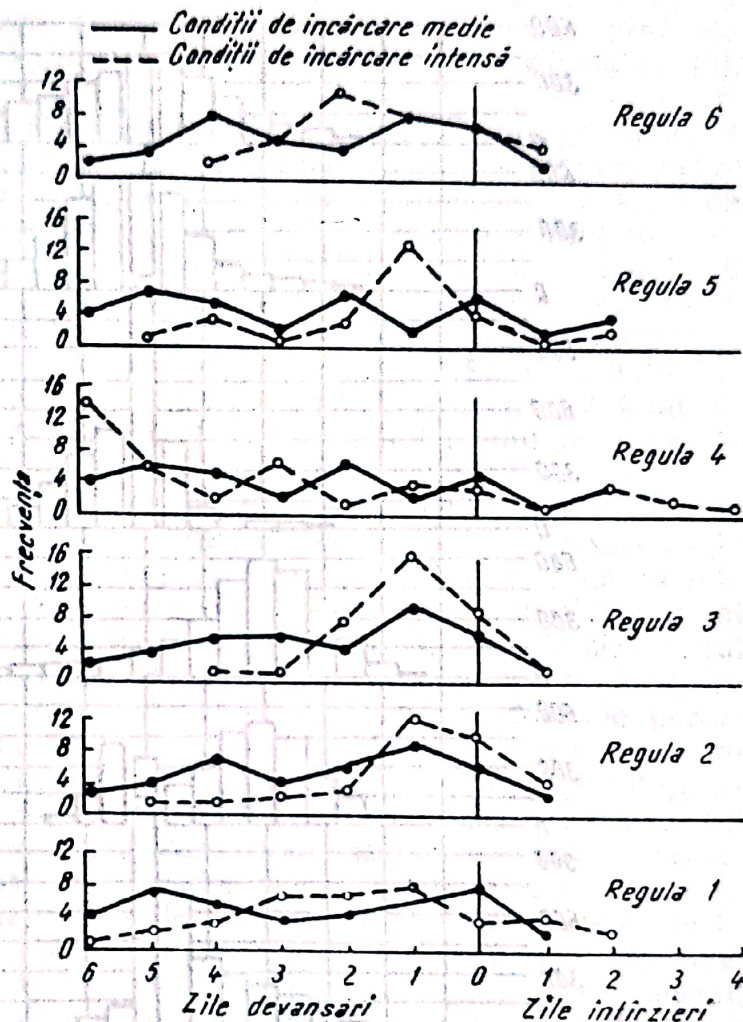


Fig. 18.8. Distribuția
îndeplinirii sarcinilor
(după A. J. Rowe
„Application of Compu-
ter Simulation to Seg-
quential Decision Rules
in Production Schedu-
ling“, Proceedings., Ele-
venth Annual Indus-
trial Engineering Insti-
tute, University of Ca-
lifornia, Berkely — Los
Angeles, 1959, pp
33—43).

reguli care stabileau succesiunea comenzilor pe baza coeficientului maxim al costului timpului de așteptare pe flux raportat la timpul executării operației, sau c/t (numit COVERT). Comparată cu alte cinci reguli încercate, regula COVERT a fost extrem de eficientă în respectarea datelor de terminare, așa cum se arată în fig. 18,9.

Urmărirea realizării comenzilor. Din păcate, în planurile noastre inițiale nu putem prevedea accidentele. Se pot strica unele mașini, se pot aglomera lucrări în fața unei mașini-cheie și pot apare multe alte incidente neprevăzute de producție, care influențează programările inițiale. În condițiile în care avem sute sau chiar mii de comenzi în fabricație, singură cale de a fi siguri că în cele din urmă comenzile vor respecta programarea este să furnizăm informații privind realizările și să

avem un sistem de acțiuni corective pentru a rezolva întârzierile. Bonurile de remaniere, ordinele de transfer și rapoartele de recepție pot asigura informații exacte care să fie comparate cu programele. Dar pentru a fi util, acest flux de informații trebuie să fie rapid, în așa fel încât acțiunile să poată fi luate pe baza unor rapoarte la zi.

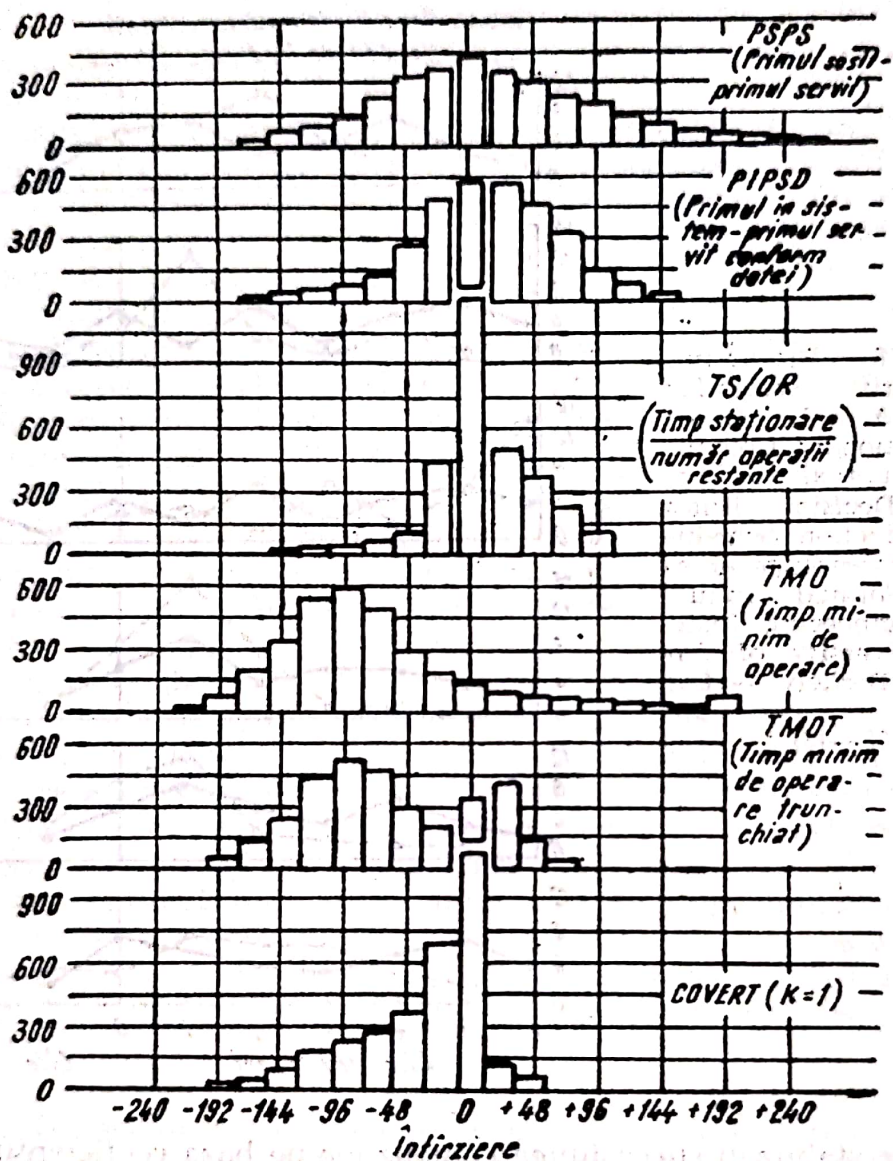


Fig. 18.9. Distribuția întârzierilor pentru 6 reguli, pentru o comandă de atelier cu un singur component (3072 comenzi, utilizarea=0,80), (după [8])

Sistemul de comunicații obișnuit al unei întreprinderi este mult prea lent pentru a servi necesitățile sistemului de control al producției. De aceea se utilizează curent sisteme de comunicație speciale, cum ar fi: servicii poștale speciale, sisteme de intercomunicații, telexuri conectate la sediul central, sisteme cu tuburi pneumatice și centre periferice de colectare a datelor legate direct la sisteme de prelucrare automată a datelor. Aceste sisteme, combinate cu prelucrarea rapidă a datelor emit rapoarte curente

care pot fi utilizate ca bază pentru impulsionarea și reprogramarea comenzilor.

Sisteme de planificare, programare operativă și control utilizând calculatorul electronic. După cum s-a menționat mai înainte, complexitatea planificării programării operative și controlului comenzilor, împreună cu dificultățile de completare a metodelor grafice (cum sînt graficele Gantt), au condus la utilizarea sistemelor bazate pe calculator [6], [16], [24], [26].

Un asemenea sistem, instalat la Hughes Aircraft Company, prezintă un interes deosebit, pentru că el combină previziunea încărcărilor, simularea programării zilnice, colectarea datelor de la distanță și o serie de rapoarte importante, toate acestea într-un sistem bazat pe calculator [6], [16], [26]. Uzinele Hughes, în care a fost instalat sistemul, au cca 1 000 mașini și/sau centre de lucru, care sînt grupate în 120 mașini sau centre de lucru funcționale. Centrele de lucru sînt deservite de 400 muncitori direcți. Aproximativ 2 000 pînă la 3 000 comenzi se găsesc în lucru simultan, cu o medie de 7 operații pe comandă. Timpul mediu total de prelucrare pentru o comandă, este de 2,5 ore și ciclul mediu pe comandă este de 3—4 săptămîni.

În fig. 18.10 se prezintă schema generală a întregului sistem. Planificarea procesului operațional este realizată pornind de la documentația tehnică din care se obțin datele esențiale despre prelucrările ce trebuie executate, timpii standard de prelucrare și toleranțele fluxului normal prin atelier. Aceste date sînt organizate în fișierele pe disc ale sistemului de calcul. Cînd se primește o notă de cerere de fabricație de la unul din serviciile de asamblare, se transmite către sistemul automat de prelucrare a datelor o comandă de fabricație, care inițiază pregătirea unei comenzi pentru atelier și stabilește o comandă deschisă în fișierul principal de comenzi deschise de fabricație. Se produce de asemenea un pachet de cartele bonuri de lucru, care însoțește comanda prin atelier.

Aceste documente sînt apoi trimise unui centru de prelansare și control al comenzilor de fabricație, de unde comenzile sînt distribuite în atelier. După lansarea în atelier, cartelele bon de lucru sînt folosite, împreună cu niște cartele de localizare din plastic la grupele de mașini, pentru furnizarea informațiilor la dispozitivele periferice de culegere a datelor. La sfîrșitul zilei o bandă de hîrtie perforată conținînd toate mișcările comenzilor din timpul zilei, se utilizează la actualizarea localizării efective a comenzilor și înscrierea operațiilor terminate în fișierul principal de comenzi deschise în fabricație.

Acest fișier conține, pe baza unei actualizări zilnice, informații privind fiecare comandă deschisă. El este punctul nodal al sistemului, care produce cele trei documente: *previziunea încărcării săptămînale a atelierului, raportul zilnic de programarea operativă a comenzilor și raportul zilnic privind comenzile urgente.* Acestea două din urmă sînt produse de către „programatorul simulării lucrărilor”. Aceste documente se utilizează de către maiștri și ajutoarele lor la stabilirea ordinei zilnice a operațiilor la grupele de mașini din atelier. Programatorul simulării este o rutină de calcul separată, folosită pentru simularea activității atelierului într-un

schimb și pentru generarea celor două rapoarte zilnice. În procesul de simulare a programării se utilizează o regulă de decizie privind alocarea după priorități, legată de timpul nefolosit din programare.

Eficiența sistemului de la Hughes după datele din [6] indică faptul că sistemul integrat bazat pe calculator a adus îmbunătățiri substanțiale.

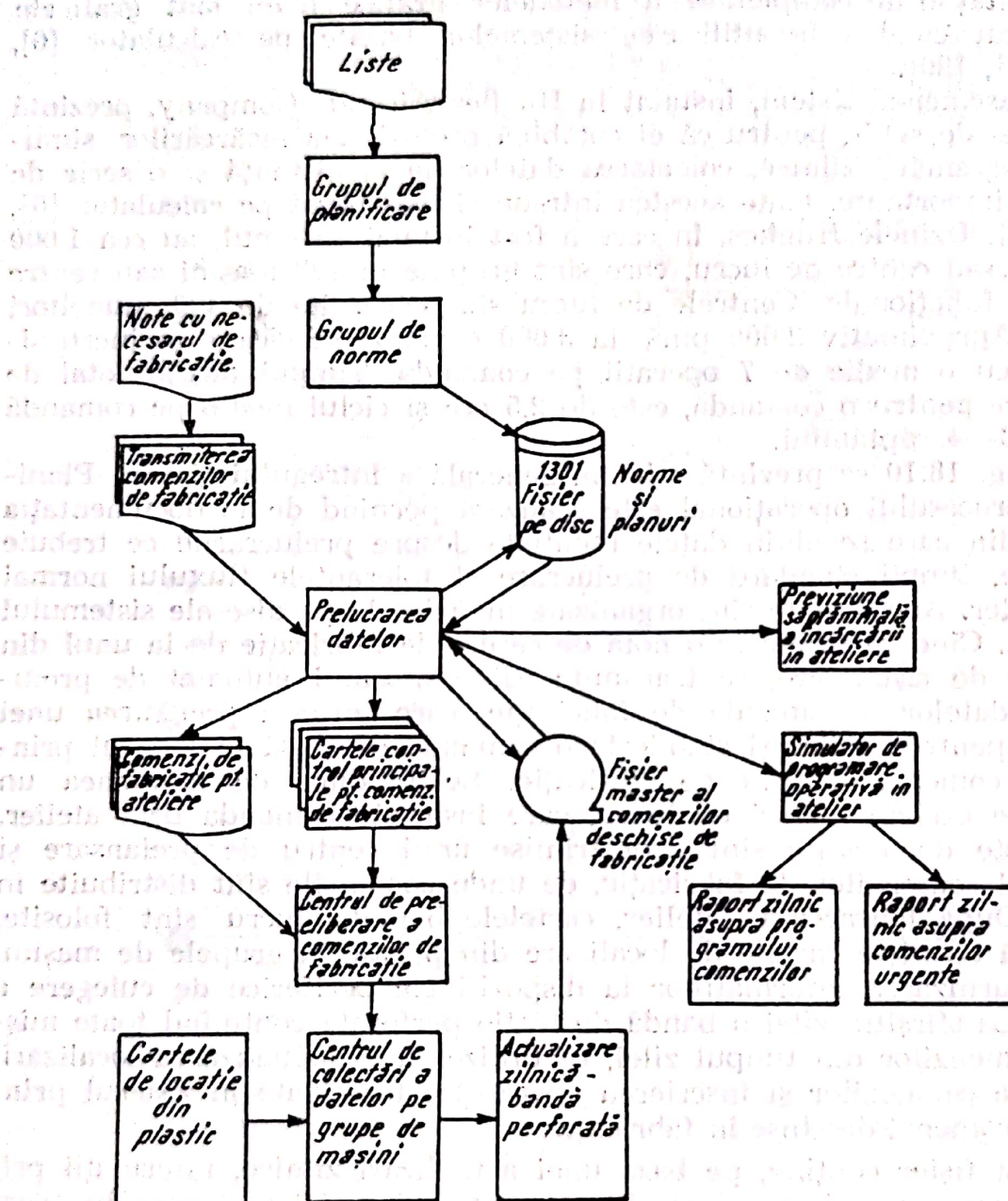


Fig. 18.10. Sistemul de producție, planificare și control la Hughes Aircraft Company's (după [6], modificat).

Spre exemplu, în primele șase luni de funcționare s-a înregistrat o creștere de 10% a numărului de comenzi terminate la timp. Durata medie a ciclului de comandă a fost redusă cu o săptămână, s-au micșorat sensibil stocurile de producție neterminate și a crescut gradul de utilizare al

oamenilor și mașinilor. Se pare că noul sistem a redus ceea ce am putea numi „presiunea organizațională”, fapt sugerat de reducerea cu 60% a muncii în asalt. Această activitate apare ca urmare a comenzilor urgente, care se repartizează de personal special pentru a avea siguranța că se bucură de o atenție deosebită în fiecare stadiu al execuției.

Proiecte unicate mari

Așa cum am subliniat în expunerea despre programarea în rețea în cap. 8, funcțiunile de planificare și programare operativă în metodologiile PERT/CPM se suprapun. Planificarea pentru un proiect implică atât stabilirea secvenței și a duratelor de timp, cât și determinarea naturii activităților. În plus, amintiți-vă din cap. 8 că programarea operativă nu poate fi separată net de problemele conexe, ca minimizarea costurilor, nivelarea încărcării și utilizarea resurselor limitate. Caracterul de unicat al proiectelor impune un punct de vedere unitar asupra planificării și programării operative.

Subiectul referitor la planificarea în rețea (și programarea operativă) s-a tratat la începutul cărții, pentru că ni s-a părut mai apropiat de planificarea și proiectarea sistemului decât de funcționarea lui propriu-zisă. Totuși, faza operațională a proiectelor mari poate fi imaginată ca raportare și control, bazate pe planuri în rețea. În acest sens, rugăm cititorul să revadă materialul din cap. 8 referitor la planificarea și programarea operativă în rețea. În continuare, ne vom concentra atenția asupra tratării succinte a fazei de control a operațiilor.

Faza de control în proiectele unicate mari este axată pe generarea de rapoarte de realizare a activităților și recalcularea periodică a programărilor. Cu datele de bază existente în program despre termenele de început și sfârșit cel mai devreme și cel mai târziu, timpii neutilizați și drumul critic sînt posibile numeroase forme de rapoarte asupra rezultatelor. În unele cazuri se pregătește de către centrul de calcul o „listă zilnică” pentru fiecare director, cuprinzînd activitățile critice care trebuie începute sau terminate în fiecare zi, ca și cele pentru perioada următoare.

Întreținerea și actualizarea programului operativ este factorul cel mai important în controlul eficienței. Un flux invers de informații rapid și exact, privind starea activităților este esențial, astfel încît programul critic revăzut produs zilnic sau săptămînal, reflectă ultimele revizuiți ale estimărilor de timp și ultimii timpi efectivi pentru activitățile terminate.

Rezumat

Programarea operativă și controlul operațiilor își concentrează atenția asupra celui mai scurt orizont de planificare. Cum trebuie defalcată planificarea agregată pe articole individuale? Cum trebuie să fie uti-

lizate resursele de oameni și mașini pentru a realiza cerințele ? Cum vor fi determinate afectările individuale de lucru ?

Pentru sistemele continue, la care planificarea agregată este mai directă și mai ușoară, procesul de programare operativă detaliată implică o reechilibrare a forței de muncă și a celorlalte mijloace, ceea ce asigură implementarea deciziei de modificare a mărimii forței de muncă și de ajustare a volumului producției. În rest, este un proces de încercare a unor soluții care trebuie să respecte limitările impuse de planificarea agregată. Deoarece acest proces de optimizare în două etape : la nivel agregat și la nivel de programare operativă, detaliate în cadrul impus de planul agregat este suboptimal, cercetările recente urmăresc un model de planificare agregată, conținând un număr suficient de mare de variabile de decizie independente pentru a cuprinde cât mai mult din programul operativ detaliat. Controlul operațiilor într-un sistem continuu este relativ simplu, asigurând fluxul invers de informații privind realizările în comparație cu planul. Acțiunea de control afectează în mică măsură rezultatele pe o perioadă dată, permițând totuși efectuarea unor modificări mai mari în perioada de plan următoare.

Programarea operativă și controlul operațiilor pentru sistemele discontinue sînt mai complexe, deoarece comenzile individuale trebuie să treacă printr-o succesiune de operații distincte. Secvențarea comenzilor pe centre de lucru a constituit subiectul unor ample cercetări : avînd date anumite obiective ale conducerii, se pot specifica reguli de decizie privind distribuirea cu priorități. Sistemele integrate bazate pe calculator pentru planificare, programare operativă și control, cum este cel de la Hughes, fac posibilă o conducere eficientă a lucrărilor în ateliere mari, ca și planificarea și controlul proiectelor unicat de mari dimensiuni.

Întrebări recapitulative

1. Discutați planul agregat ca o restricție în programarea operativă.
2. Avînd planul agregat ca limitare a programării operative, în sisteme continue, ce flexibilitate rămîne pentru cei ce întocmesc programările de detaliu ?
3. În ce împrejurări devine necesară reechilibrarea liniilor de producție cînd se fac ajustări la un nou plan agregat ?
4. Discutați baza de defalcare a planului agregat în cantități pe tipuri și mărimi de produse, ca problemă de alocare.
5. Analizați critic diagrama de flux din fig. 18.2 ca proces general de elaborare a unor programe operative optime.
6. Ce flexibilitate rămîne la dispoziția conducerii într-un sistem continuu pentru adaptarea la deviațiile producției efective de la nivelele planificate într-o perioadă dată ?
7. Ce importanță prezintă diagramele matriciale în programarea operativă ?

8. Cum ajută conceptul de diagramă de programare în programarea operativă a comenzilor pentru un produs complex ?

9. Ce este o regulă de decizie privind alocarea ?

10. Dacă obiectivele conducerii cer stocuri de producție neterminată scăzute, care este cea mai indicată regulă de decizie privind alocarea după priorități ? Dar dacă obiectivul este livrarea comenzilor la timp ?

11. Ce sînt graficele Gantt ? Discuțați funcțiunile unui grafic Gantt de planificare a proiectului, al unui grafic Gantt de încărcare, și ale unui grafic Gantt desfășurat sau de rezervare a timpului planificat ?

12. Evaluați graficul Gantt ca o reprezentare a problemei programării operative în lucrările din ateliere.

13. Întrucît atelierele pe comandă și proiectele mari sînt privite ca sisteme discontinue, de ce nu sînt valabile pentru amîndouă aceleași tehnici de planificare și programare operativă ?

PROBLEME

1. Considerați asamblarea robinetului descris în fig. 7.27 și discutați în problema nr. 1 la p. 165 vol. I. Construiți o diagramă de programare operativă pentru fabricarea unei comenzi de 500 robinete, avînd următoarele date :

(a) Toată planificarea și proiectarea privind producția de robinete a fost terminată ;

(b) Modelele pentru diverse piese turnate se pot obține în patru zile lucrătoare ;

(c) Pentru producerea pieselor turnate (corpul, bușa, mînerul, adică piesele nr. 1, 2 și 6) sînt necesare două zile (Piesele turnate nu pot fi produse la turnătorie pînă nu sosesc modelele).

(d) Barele pentru ax și piuliță (piesele nr. 3 și 5) se pot obține de la un furnizor local în trei zile după plasarea comenzii.

(e) Șuruburile, piulițele, garniturile etc. se pot obține în trei zile.

(f) Atelierul mecanic estimează timpul de fabricație și de asamblare pentru un lot de 500 piese astfel : corpul — trei zile ; bușa — trei zile ; axul — o zi ; piuliță de capăt — o zi ; mînerul — trei zile ; asamblare — trei zile.

2. Sînteți cel ce efectuează programarea operativă a producției într-o fabrică de instalații sanitare care produce robinetele din problema anterioară și trebuie să programați utilizarea a patru mașini pentru săptămîna viitoare. Un coleg din serviciul programare revede situația și întrevide o soluție care conduce la un cost combinat de fabricație plus pregătire de 1395 \$. El vă provoacă să găsiți una mai bună. Uzina lucrează 8 ore pe zi „cinci zile pe săptămînă” și nu utilizează ore suplimentare. Folosind un grafic Gantt, programați comenzile și calculați costurile variabile totale pentru programul dumneavoastră. Datele sînt următoarele :

Comenzi pentru săptămîna viitoare	Cantități	Material disponibil	Termen de terminare	
1. Corpuri robinete	1400	luni ora 8,00	joi	ora 17,00
2. Mîner	700	luni ora 8,00	vineri	ora 17,00
3. Ghidaje	300	luni ora 8,00	joi	ora 17,00
4. Axe	1200	marți ora 20,00	vineri	ora 17,00
5. Piulițe de capăt	1500	luni ora 20,00	vineri	ora 11,00

Timpi de pregătire și operare

Comanda	Mașini			
	Strung	Freză	Mașină de găurit	Strung revolver
1. Timp pregătire, ore	—	2,00	1,00	4,00
Timp operație, ore/piese	—	0,01	0,02	0,02
2. Timp pregătire, ore	3,00	4,00	—	1,00
Timp operație, ore/piese	0,05	0,07	—	0,05
3. Timp pregătire, ore	1,00	—	1,00	—
Timp operație, ore/piese	0,18	—	0,10	—
4. Timp pregătire, ore	2,00	2,00	2,00	—
Timp operație, ore/piese	0,12	0,04	0,04	—
5. Timp pregătire, ore	—	2,50	2,00	4,00
Timp operație, ore/piese	—	0,05	0,03	0,02
Număr mașini disponibile	2	1	2	3
Cost operare/oră	9,50 \$	8,00 \$	4,00 \$	4,00 \$
Costuri pregătire :				
1	—	325,00 \$	90,00 \$	30,00 \$
2	25,00 \$	170,00	—	75,00
3	13,00	—	—	75,00
4	50,00	380,00	25,00	—
5	—	400,00	200,00	50,00

3. La un centru de lucru se primesc comenzi cu caracteristici indicate în datele următoare. În ce ordine ar trebui prelucrate comenzile la centrul de lucru, după următoarele reguli de decizie pentru alocare :

- (a) PSPS (primul sosit — primul servit)
- (b) TMO (timpul minim de operare)
- (c) TS (timp de staționare, adică data scadentă minus data sosirii la centrul de lucru)
- (d) PISPS (sistemul de lei scadente, primul în sistem — primul servit)
- (e) TS/OR (timp staționare/număr de operații rămase)

Ce regulă de decizie preferați ? De ce ? Calculați prioritățile pentru fiecare regulă și prezentați secvența în care ar trebui prelucrate comenzile.

Nr. co-mandă	Termen final	Data și ora primirii la centru	Timp operație (ore)	Operații rămase
1	1 mai	18 aprilie 9	6	3
2	20 aprilie	21 aprilie 10	3	1
3	1 iunie	19 aprilie 17	7	2
4	15 iunie	21 aprilie 15	9	4
5	15 mai	20 aprilie 17	4	5
6	20 mai	21 aprilie 17	8	7

Bibliografie

- [1] Allen, M. „The Efficient Utilization of Labor Under Conditions of Fluctuating Demand.“ In : *Industrial Scheduling*, J. F. Muth și G. L. Thompson, editors, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [2] Biegel, J. E. *Production Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [3] Bock, R. H., W. K. Holstein. *Production Planning and Control*. Charles E. Merrill, Columbus, Ohio, 1963.
- [4] Buffa, E. S. *Operations Management: Problems and Models* (ed. II-a) John Wiley, New York, 1968.
- [5] Buffa, E. S. *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1968.
- [6] Bulkin, M. H., J. L. Colley, H. W. Steinhoff, Jr. „Load Forecasting, Priority Sequencing, and Simulation in a Job Shop Control System.“ In : *Readings in Production and Operations Management*, E. S. Buffa, editor, John Wiley, New York, 1966.
- [7] Carlson, J. G. „How Management Can Use the Improvement Phenomenon.“ *California Management Review*, 3 (2), 1961.
- [8] Carroll, D. C. „Heuristic Sequencing of Single and Multiple Component Jobs.“ Dissertation, Sloan School of Management, MIT, 1965.
- [9] Conway, R. W. W. L. Maxwell. „Network Scheduling by the Shortest Operation Discipline.“ *Operations Research*, 10 (1), 51—73, 1962.
- [10] Conway, R. W., W. L. Maxwell, L. W. Miller. *The Theory of Scheduling*. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967.
- [11] Davis, E. W. „Resource Allocation in Project Network Models—A Survey.“ *Journal of Industrial Engineering*, 17 (4), 177—188, Apr. 1966.
- [12] Elmaghraby, S. E. R. T. Cole. „On the Control of Production in Small Job-Shops.“ *Journal of Industrial Engineering*, 14 (4), 186—196, Iulie-Aug. 1963.
- [13] Ferguson, R. O. L. F. Sargent. *Linear Programming*. McGraw-Hill, New York, 1958.
- [14] Gordon, J. R. M. „A Multi-Model Analysis of an Aggregate Scheduling Decision.“ Ph. D. Dissertation, Sloan School of Management, MIT, 1966.
- [15] Greene, J. H. *Production Control: Systems and Decisions*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1965.
- [16] LeGrande, E. „The Development of a Factory Simulation System Using Actual Operating Data.“ *Management Technology*, 3 (1), Mai 1963.
- [17] MacNiece, E. H. *Production Forecasting Planning and Control* (2nd ed.). John Wiley, New York, 1957.
- [18] Magee, J. F. and D. M. Boodman. *Production Planning and Inventory Control*. McGraw-Hill, New York, 1967.

Să recunoaștem că mașinile se strică ! Conducerea producției trebuie să se asigure pentru această eventualitate într-un mod care să mențină siguranța sistemului de producție la un nivel rezonabil, fără însă a „merge spre faliment“ numai pentru a menține mașinile în funcțiune. Sîntem confrunțați aici cu alt aspect al problemei de a încerca o echilibrare a factorilor de cost. Cînd se strică o mașină, apar următoarele tipuri de costuri : timp de mașină neutilizat și pierderi posibile din vânzările potențiale, muncă directă și indirectă neutilizată, întîrzieri ale altor prelucrări care pot depinde de aprovizionarea cu material de la mașina defectă, creșterea rebuturilor, nemulțumirea clienților datorită posibilelor întîrzieri în livrări și costul propriu-zis de reparare a mașinii.

Putem privi această problemă ca privind menținerea siguranței întregului sistem de producție. În general, această siguranță poate fi menținută și îmbunătățită pe următoarele căi :

1. Creșterea volumului mijloacelor de reparații și a echipelor, astfel încît timpul mediu de nefuncționare a mașinilor se reduce datorită faptului că este mai puțin probabil ca echipele de reparații să fie ocupate în momentul cînd apare o defecțiune.

2. Utilizarea întreținerii preventive acolo unde este posibil, pentru ca piesele supuse uzurii să fie înlocuite înainte de a se strica. Deseori este posibil să se facă aceasta în schimburile doi și trei, pentru a nu perturba programele de producție normale. Dacă întreținerea preventivă este indicată sau nu, aceasta depinde, așa cum vom vedea, de distribuția defecțiunilor și relația dintre timpul de întreținere preventivă și timpul de reparație.

3. Asigurarea unor marje în sistem la etapele critice, pentru a avea disponibile căi de ocolire. Aceasta înseamnă o capacitate suplimentară, pentru ca atunci cînd unele mașini se strică, aceasta să nu afecteze într-o măsură prea mare costurile de întîrziere.

4. Mărirea siguranței de funcționare a componentelor mașinilor sau a mașinilor din sistem prin îmbunătățiri în proiectarea acestora. Spre exemplu, sistemele speciale de ungere pot mări durata de viață a pieselor motrice.

5. Separarea stadiilor succesive ale sistemului de producție prin stocuri între operații. Independența rezultată a operațiilor localizează efectul defecțiunii, astfel încît operațiile anterioare și cele care urmează mașinii defecte nu vor fi afectate.

Pentru atingerea unei siguranțe crescute prin oricare din aceste mijloace, sînt necesare fonduri; acestea se pot justifica numai în măsura în care sînt recuperate prin reducerea costurilor timpilor neutilizați, rebuturilor, vânzărilor pierdute etc. Calea 4 poate fi considerată ca o problemă tehnică de proiectare legată de analiza economică; calea 5 se leagă de problema de control al stocurilor, pe care le-am discutat anterior. Căile 1, 2 și 3 reprezintă idei pe care încă nu le-am dezbătut. Vom afecta cea mai mare parte a acestui capitol unor considerații privind abordarea acestor probleme, care pot îndruma activitatea de întreținere.

Distribuții ale timpului de întreruperi

Datele referitoare la distribuția timpului de întreruperi sînt foarte importante dacă sperăm să putem formula o politică generală privind întreținerea. Distribuțiile timpilor de întrerupere indică frecvența de funcționare fără defecțiuni pentru un număr dat de ore de utilizare; ele apar de obicei ca distribuții de fracțiuni de întreruperi care depășesc un timp dat. Aceste distribuții se obțin din distribuțiile timpului de lucru fără întreruperi, ca cele din fig. 19.1. Figura 19.2 prezintă trei distribuții ale timpului de întreruperi. Ele au forme diferite în funcție de natura utilajului. Spre exemplu, o mașină simplă, cu cîteva piese în mișcare, va avea tendința să se defecteze la intervale aproape constante de la ultima reparație, adică, prezintă o variabilitate minimă în distribuțiile timpului de întrerupere.

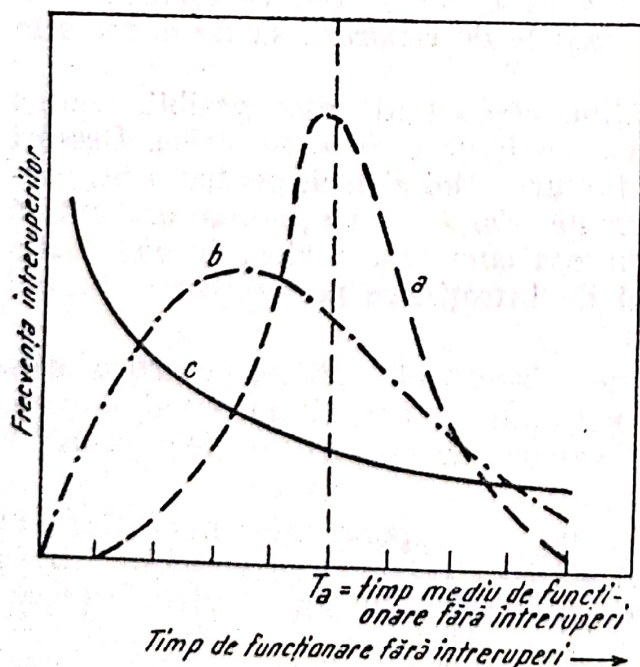


Fig. 19.1. Distribuția frecvenței timpului de funcționare fără întreruperi pentru trei grade de variabilitate.

Curba *a* din fig. 19.1 este un caz tipic pentru această situație. Un procent mare de defecțiuni apare în apropierea timpului mediu de întreruperi T_a , în timp ce la extreme apar numai cîteva defecțiuni.

Pentru mașinile mai complexe, avînd mai multe piese, fiecare piesă ar fi avut o distribuție de defectare și cînd toate ar fi fost grupate într-o singură distribuție a timpului de întreruperi a mașinii (din orice cauze), am fi observat o variabilitate mai mare, datorită faptului că mașina se poate defecta dintr-un număr mai mare de motive. Unele defecțiuni pot apărea la scurt timp după efectuarea ultimei reparații sau în orice alt moment. Deci, pentru același timp mediu de întreruperi T_a , vom observa o variabilitate mai largă a timpului de întreruperi, cum se vede în curba b din fig. 19.1.

Pentru a completa tabloul distribuțiilor reprezentative ale timpului de întreruperi, curba c este caracteristică pentru distribuțiile cu același timp mediu de întreruperi T_a , dar cu variabilitate mai mare. O proporție însemnată a defecțiunilor cu o distribuție ca cea din curba c apar imediat după reparație; pe de altă parte, un mare număr de mașini au o funcționare îndelungată după reparație. Curba c poate fi tipică pentru mașinile care cer ajustări foarte fine. Dacă ajustările se fac exact cum trebuie, utilajul poate funcționa un timp îndelungat; dacă nu, pot fi necesare aproape imediat reajustări și reparații.

În modelele de întreținere avem de a face în mod normal cu distribuții ale procentajului de defecțiuni care depășesc un timp de funcționare dat, așa cum se vede în fig. 19.2. Ele sînt simple transformări ale distribuțiilor timpului de funcționare, ale căror forme tipice sînt indicate în fig. 19.2. Luînd drept exemplu curba a din fig. 19.1, o putem

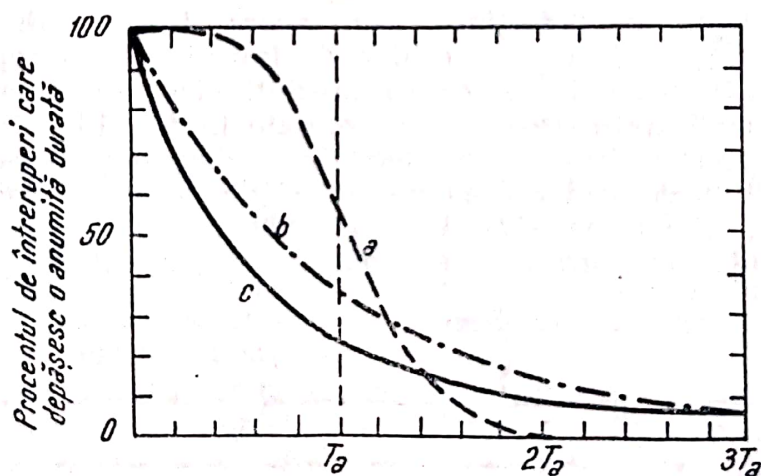


Fig. 19.2. Distribuții ale timpului de întreruperi. Curba a prezintă variabilitate redusă începînd cu timpul mediu de întrerupere T_a . Curba b este distribuția exponențială și prezintă variabilitate medie. Curba c are variabilitate ridicată, linia întreruptă reprezintă un timp de întrerupere constant (după [6], modificat).

transforma în distribuția timpului de întreruperi reprezentată de curba a din fig. 19.2, în modul următor: dacă scara verticală din fig. 19.1 este convertită în procentaj de defecțiuni, în loc de frecvență a defecțiunilor, putem trasa cu ușurință procentajul de defecțiuni care depășesc un timp

de funcționare dat. În primul rând, știm că toate defecțiunile, sau 100%, depășesc un timp mediu de funcționare egal cu 0. Pentru a obține curba a din fig. 19.2, scădem succesiv procentajele care apar la diferiți timpi de funcționare.

Examinând fig. 19.2 putem observa că aproape 60% din defecțiuni depășesc timpul mediu de întreruperi T_a și că foarte puține defecțiuni apar după $2 T_a$.

În practică, distribuțiile reale ale timpului de întreruperi pot fi adesea approximate prin distribuții standard, dintre care trei sînt prezentate în fig. 19.2. Curba b este de fapt distribuția exponențială despre care am discutat în legătură cu teoria firelor de așteptare.

De aici înainte, ne vom referi la distribuția timpului de întreruperi reprezentată în fig. 19.2, amintindu-ne că datele de bază pentru această distribuție vor fi acumulate ca o distribuție a frecvenței timpului de funcționare sub forma din fig. 19.1.

Întreținerea preventivă și reparația (mașină individuală)

Să presupunem o politică de întreținere preventivă care asigură un control și, posibil, înlocuirea anumitor piese, după ce mașina a funcționat un timp fix, numit perioada de întreținere preventivă. Pentru a realiza întreținerea preventivă, echipa de întreținere are nevoie de un timp mediu, T_m , care reprezintă ciclul de întreținere preventivă. Anumite defecțiuni vor apare înainte de terminarea ciclului fixat. În aceste cazuri, echipa de întreținere va repara mașina, consumînd un timp mediu T_s , care reprezintă ciclul de reparație. Aceste două modele de întreținere sînt reprezentate în fig. 19.3. Probabilitatea de apariție a acestor două cicluri depinde de distribuția specifică a timpului de întreruperi pentru acea mașină și de lungimea perioadei standard de întreținere preventivă. Dacă distribuția are o variabilitate scăzută și perioada standard este, să spunem, de numai 80% din timpul

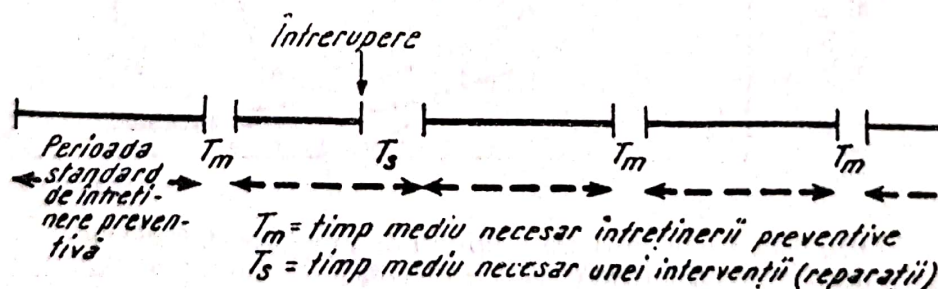


Fig. 19.3. Grafic ilustrativ pentru timpul de funcționare a unui utilaj, timpul de întreținere preventivă T_m și timpul de execuție pentru reparațiile reale T_s .

mediu de funcționare fără întreruperi, T_a , defecțiunile efective vor apare cu frecvență destul de mică și cele mai multe cicluri vor fi de întreținere preventivă. Dacă distribuția este mai variabilă mai mare, pentru aceiași perioadă standard de întreținere preventivă, vor apare mai multe defec-

țiuni efective înainte de sfârșitul acestei perioade. Evident, scurtând perioada standard vom obține mai puține defecțiuni efective, iar lungimea ei va avea un efect opus celui menționat ; aceasta este valabil pentru orice distribuție.

Presupunând că fie prin întreținere preventivă, fie prin o reparație, mașina se pune în stare de funcționare pentru o perioadă de o lungime

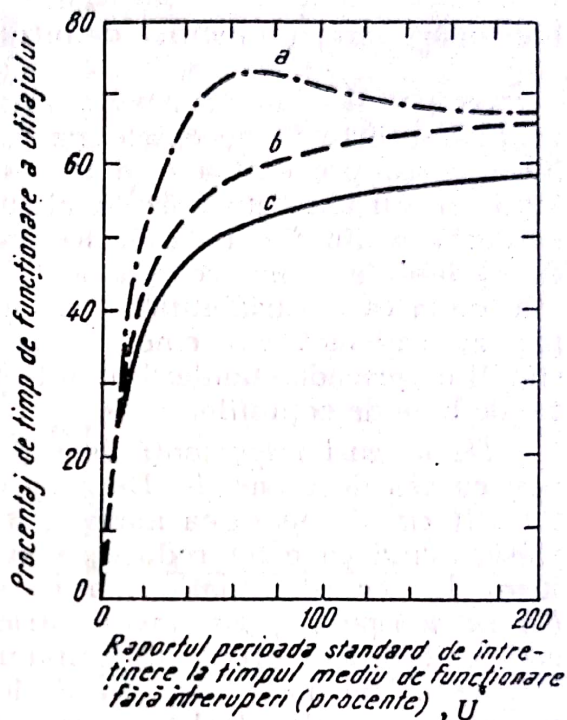


Fig. 19.4. Procentajul de timp în care un utilaj lucrează, pentru cele 3 distribuții de timp de întrerupere din fig. 19.1. Timpul de întreținere preventivă, T_m , este 2% din T_a ; timpul de reparație este 5% din T_a (după [6], modificat).

probabilă egală, Morse [6] a arătat că procentul de timp de funcționare al mașinii depinde de raportul perioadei standard de întreținere și timpul mediu de funcționare T_a , pentru o distribuție de timp de întreruperi.

Figura 19.4 evidențiază relația dintre procentul de timp în care mașina lucrează și raportul dintre perioada standard și timpul mediu de funcționare T_a , pentru cele trei distribuții prezentate în fig. 19.2. Observați că în general, când perioada standard este scurtă, să zicem mai puțin de 50% din T_a , mașina lucrează numai o mică parte din timp, fiind foarte des oprită pentru întreținere preventivă. Pe măsură ce perioada standard crește, apar mai multe defecțiuni care cer reparații. Pentru curbele b și c, aceasta îmbunătățește cuantumul de timp în care mașina lucrează, datorită combinării timpului de întreținere preventivă și timpului de reparație, producând un timp de întreruperi total mai mic.

Curba a, prezintă însă un vîrf sau o perioadă optimă de întreținere preventivă care maximizează procentul timpului de funcționare a mașinii. Ce este specific pentru curba a ? Aceasta se bazează pe distribuția timpului de întreruperi cu variabilitate mică din fig. 19.2. În cazul curbei a, creșterea perioadei de întreținere în jurul lui 70% din T_a reduce timpul de funcționare pentru că defecțiunile efective ale mașinii sînt mai probabile. Aceasta nu este valabil pentru distribuții cu variații mai mari,

(curbele b și c), pentru că defecțiunile sînt mai probabile pe tot parcursul distribuției lor, decît în cazul curbei a . Se pot construi curbe asemănătoare indicînd procentul de timp în care mașina este în stare de întreținere preventivă și procentul timpului în care mașina este reparată datorită defecțiunilor [6].

Indrumări pentru o politică de întreținere preventivă

Se pot face unele generalizări privind politica de întreținere preventivă, utilizînd conceptele pe care le-am prezentat. În primul rînd, întreținerea preventivă este în general aplicabilă la mașinile cu distribuții cu variabilitate scăzută ale timpului de întreruperi, exemplificată de curba a din fig. 19.2. În această categorie intră în general distribuții cu variabilitate mai redusă decît cea a curbei exponențiale b . Motivul este acela că o variabilitate mai mică înseamnă că putem prevedea cu o precizie satisfăcătoare cînd vor apare majoritatea defecțiunilor. Se poate stabili o perioadă standard de întreținere preventivă care anticipează desul de bine defecțiunile.

De aceeași importanță este și relația duratei de întreținere preventivă cu cea de reparație. Dacă executarea întreținerii preventive durează tot atît cît și repararea mașinii, întreținerea preventivă nu este avantajoasă, avînd ca efect reducerea perioadei de timp în care mașina poate lucra. În această situație, mașina stă un timp minim neutilizată, pur și simplu așteptăm pînă cînd se strică. Aceasta se prezintă în fig. 19.5, în care se compară procentul timpului de funcționare cînd durata de reparație este mai mare decît cea de întreținere preventivă și cînd cele două durate sînt egale. Ambele curbe sînt bazate pe distribuția cu variabilitate scăzută a curbei a din fig. 19.2. De remarcat la curba d un punct de optim, care nu există la curba e . Pentru curba din urmă, procentul timpului de funcționare al mașinii continuă să crească pe măsura lungirii perioadei standard de întreținere, ceea ce duce la mai multe reparații și la mai puține cicluri de întreținere preventivă. În mod evident, nu este avantajoasă întreținerea preventivă cînd $T_m = T_s$, din punct de vedere al timpului de funcționare maxim al mașinii. Pentru a rezuma cele expuse pînă aici, întreținerea preventivă este utilă atunci cînd distribuțiile timpului de întreruperi indică o variabilitate scăzută și cînd timpul mediu pentru întreținere preventivă este mai mic decît timpul mediu pentru reparații după apariția defecțiunii.

Efectul costului timpului de neutilizare datorită defecțiunilor poate modifica totuși concluziile enunțate. Să presupunem că ne ocupăm de o mașină dintr-o linie de producție. Dacă mașina se strică, trebuie oprită întreaga linie, rezultînd costuri foarte ridicate ale timpului neutilizat. În această situație, este mai indicată întreținerea preventivă decît reparația, dacă această întreținere se poate executa în schimbul II sau III, perioada de concedii sau pauze de prînz cînd linia este oprită în orice caz. Aceasta este adevărat, chiar dacă $T_m = T_s$. Determinarea perioadei standard de întreținere preventivă va cere o analiză diferită, deși asemănătoare, în

care procentul timpului de lucru al mașinii se exprimă ca o funcție numai de timpul de reparații, deoarece întreținerea preventivă se face în afara timpului normal de muncă. O soluție optimă ar putea fi aceea care minimizează costurile totale ale întreruperilor, costurile întreținerii preventive plus costurile de reparații.

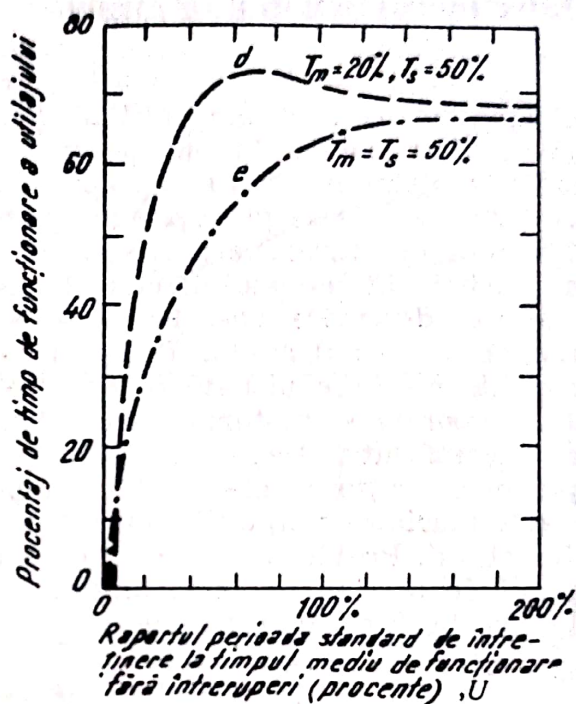


Fig. 19.5. Comparația procentelor de timp lucru mașină când timpul de întreținere preventivă este mai mic decât cel de reparație (curba *d*) și când ele sunt egale (curba *e*). Curba *d* este identică cu curba *a* din fig. 19.3. T_m și T_s sunt exprimați ca procente din timpul mediu de întrerupere T_a

Scopul calculului costurilor neutilizării datorită defecțiunilor este justificarea unor perioade standard de întreținere preventivă mai scurte și a efectuării mai rapide a reparațiilor (la costuri mai mari) când acestea sunt necesare. Sunt totuși multe situații când o lucrare de reparații nu poate fi executată mai repede, chiar cu mână de lucru suplimentară.

În asemenea cazuri, timpul total de neutilizare datorită defecțiunilor trebuie scurtat prin ore suplimentare în mai multe schimburi și în zilele de odihnă, cu costuri corespunzătoare mai mari. Soluțiile optime vor indica perioada standard de întreținere preventivă, timpul neutilizat al mașinii și timpul neutilizat al echipei de reparații, încercând să asigure o echilibrare a costurilor timpului de neutilizare datorat defecțiunilor cu cele de întreținere.

Există un caz special, când, datorită nivelului vânzărilor fabrica trebuie să lucreze la întreaga capacitate pentru a satisface cererea. În aceste condiții, reducerea timpului de lucru al mașinilor datorită reparațiilor și întreținerii preventive reduce numărul de unități care pot fi vândute și, ca urmare, afectează veniturile. Politica optimă de întreținere este în acest caz și mai mult îndreptată spre scurtarea perioadelor standard de întreținere preventivă și se concentrează și mai mult efortul către execu-

țarea rapidă a reparațiilor atunci cînd apar defecțiuni. Morse [6] a dezvoltat unele modele care se aplică acestor cazuri speciale, în care se maximizează o funcție a venitului minus întreținerea.

Întreținerea mai multor mașini

Situația unei singure mașini, pe care am analizat-o mai sus, conține elementele de bază ale politicii generale care poate fi aplicată la cazul mai multor mașini. Cu toate acestea, cînd trebuie întreținute mai multe mașini, problema noastră se apropie mai mult de modelul obișnuit al firelor de așteptare. Dacă presupunem că toate mașinile au aceeași distribuție a timpului de întreruperi pentru defecțiuni, defecțiunile sînt comparabile cu sosirile în modelul firelor de așteptare, iar echipa de reparații este stația de deservire, pe măsură ce mașinile se strică, echipa de reparații le repară în timpul mediu T_s , ca mai sus. Dacă echipa lucrează deja la o mașină, mașinile următoare care se vor strica trebuie să aștepte pentru a fi reparate și costurile asociate timpului de nefuncționare cresc odată cu această întârziere. Putem reduce probabilitatea ca aceasta să se întîmple prin creșterea efectivului echipei, dar această soluție costă și ea și crește mărimea timpului nelucrat de echipă, cînd aceasta așteaptă să apară defecțiuni. Problema este deci de a încerca o echilibrare a costurilor timpului de mașină nelucrat datorat defecțiunilor cu cele ale timpului nelucrat al echipei de întreținere.

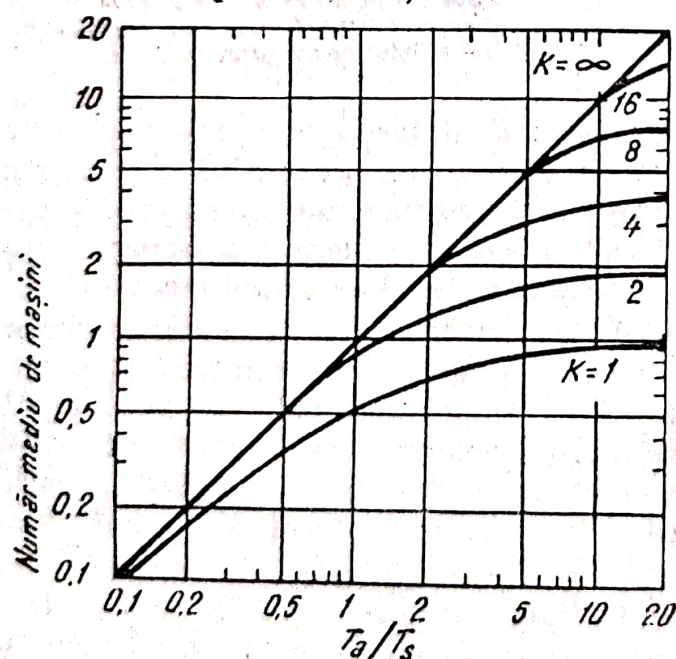


Fig. 19.6. Număr mediu de utilaje în lucru, pentru K utilaje, cînd timpii de întrerupere și cei de intervenție (reparații) sînt distribuți exponențial (după [6]).

Cînd timpii de întreruperi urmează o distribuție exponențială negativă (adică sosirile sînt distribuite conform unei distribuții Poisson) și cînd timpii de reparație sînt de asemenea distribuiți exponențial, numărul mediu de mașini în lucru poate fi corelat cu raportul dintre timpul mediu de întreruperi și timpul mediu de reparații T_a/T_s , ca în fig. 19.6. Această dia-

gramă se poate utiliza astfel : Să zicem că avem 8 mașini și cererea efectivă ne obligă să ținem în lucru în medie 5 mașini. Pe curba $K=8$, citim valoarea pentru T_a/T_s care corespunde numărului mediu de mașini în lucru — 5. Această valoare este aproximativ 7. Dacă timpul mediu de întreruperi este de 70 zile, atunci mijloacele și echipele de întreținere ar trebui să fie suficient de mari pentru a deservi o mașină în $T_s=70/7=10$ zile în medie. Pentru a realiza acest nivel de serviciu, echipa va fi

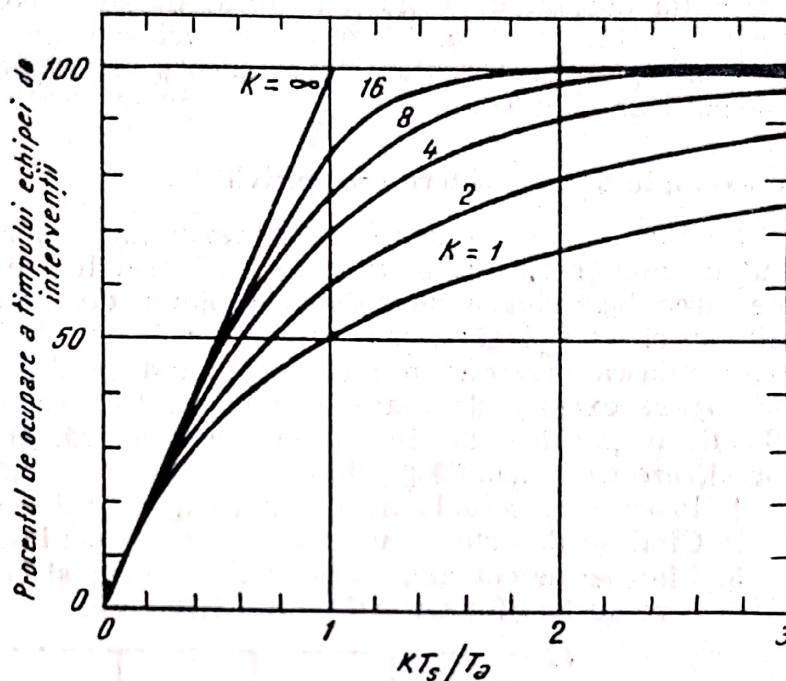


Fig. 19.7. Procentul de ocupare a timpului unei echipe de intervenții pentru K mașini, când timpii de întreruperi și cei de intervenții (reparații) sînt distribuiți exponențial (după [6]).

ocupată circa 80% din timp, lucru care se vede din fig. 19.7. Avînd $K=8$ și $T_s/T_a=1/7$, se poate citi de pe curba pentru $K=8$ mașini $K T_s / T_a=1,14$ și procentul de timp în care echipa de reparații este ocupată.

De asemenea, dacă încercăm să asigurăm siguranța printr-un exces de capacitate, diagrame similare celor din fig. 19.6 și 19.7 pot furniza datele de bază pentru analize comparative de cost.

Obiectivul este minimizarea costurilor de neutilizare plus întreținere, presupunînd că T_s poate fi redus prin creșterea efectivului echipei. Desigur, un mijloc de reducere a costurilor de neutilizare ar fi asigurarea unor echipe de reparații multiple, care mărește probabilitatea ca o echipă să fie disponibilă în momentul în care a apărut o defecțiune. S-au elaborat modele pentru asemenea situații [5], [6].

Simularea unor variante de soluții

Cînd întreținerea se execută în orice caz, o practică destul de obișnuită este să se înlocuiască piese care încă nu s-au defectat, cu scopul prevenirii unor defecțiuni viitoare. Costul variabil de înlocuire a acestor

piese este desori mic, pentru că mașina este deja parțial demontată. De exemplu, dacă se demontează un motor de automobil pentru a-i înlocui cilindrii, se pot înlocui la un preț nu cu mult mai mare decât costul pieselor și alte piese, ca : tija conectoare a lagărelor. Dacă aceste piese nu sînt înlocuite și se defectează mai tîrziu, costul de înlocuire va fi ridicat pentru că va trebui să demontăm motorul din nou. Dacă o asemenea practică este sau nu rentabilă pentru un anumit caz, aceasta depinde de distribuția duratei de viață a costului piesei și costului timpului de întrerupere. Datorită complexității legăturilor între duratele de viață probabile ale pieselor, simularea este adesea un mijloc rentabil de evaluare a variantelor practice.

Un exemplu de întreținere preventivă

Să luăm pentru exemplificare cazul unei fabrici, care are de întreținut un număr de mașini cu care s-a lucrat foarte intens, din care cauză defectarea lagărelor a devenit o problemă de întreținere obișnuită. Mașinile au câte trei lagăre, care creează probleme. În general, se obișnuia să se înlocuiască lagărele în momentul cînd se defectează, dar timpul de întrerupere excesiv de mare a ridicat întrebarea dacă nu cumva este indicată o politică de întreținere preventivă. Întreprinderea dorește să se analizeze trei variante posibile :

1. Procedura actuală de înlocuire a lagărelor cînd se defectează.
2. Cînd se defectează un lagăr să se înlocuiască toate trei.
3. Cînd se defectează un lagăr, se înlocuiește acesta, plus alte lagăre care au fost folosite minimum 1 700 ore.

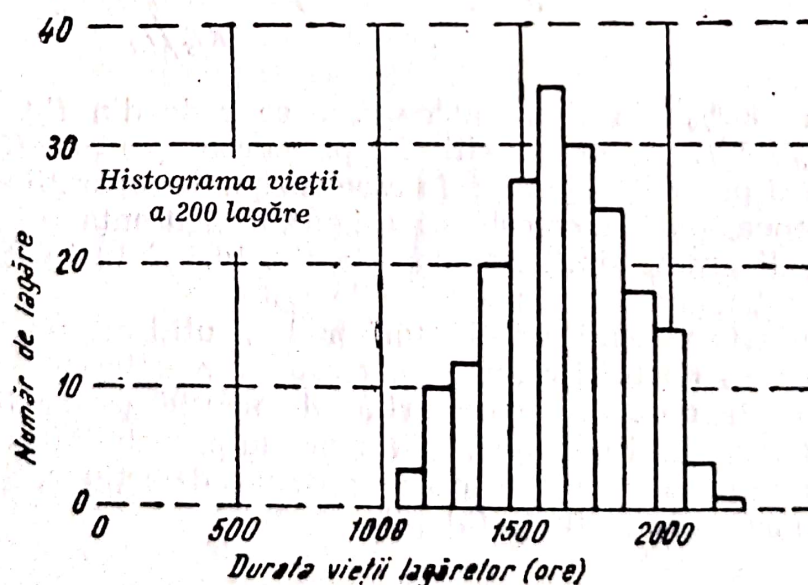


Fig. 19.8. Distribuția duratei vieții lagărelor

Pentru a simula procedurile conform celor trei variante erau necesare date privind durata de viață a lagărelor și date despre costuri. Figura 19.8 prezintă distribuția duratei de viață a lagărelor ; tabelul 19.1 rezumă datele corespunzătoare de timp și cost.

Pentru a simula operațiile de întreținere în variantele indicate, urmăm procedurile descrise în cap. 4 și transformăm distribuția în una cumulativă, stabilind un procentaj sau o scară de probabilitate, ca în fig. 19.9. Acum putem utiliza această figură pentru a selecta duratele întâmplătoare de viață ale lagărelor din distribuție. Prin utilizarea unui

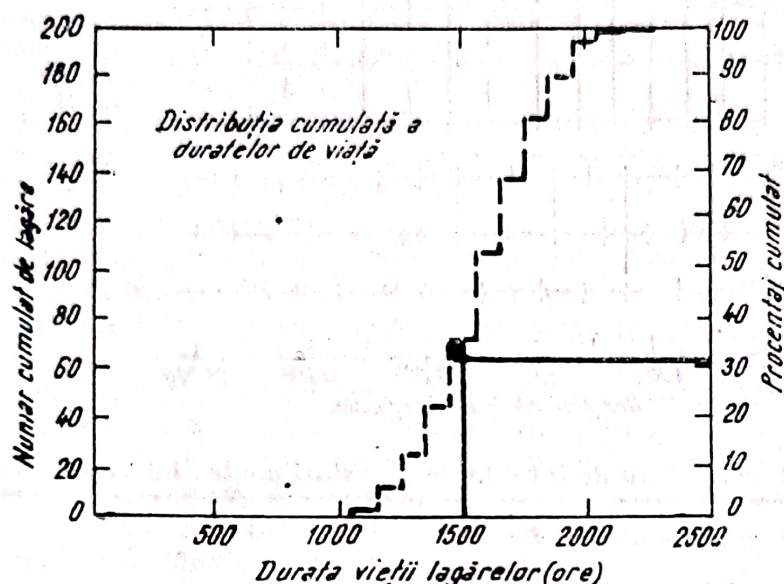


Fig. 19.9. Distribuția comutativă a duratei vieții lagărelor.

tabel de numere aleatorii, sau a unui alt sistem de selectare de numere aleatorii între 0 și 100, putem proceda la selectarea duratelor de viață și la simularea operațiilor. De exemplu, numărul aleator 32 selectează o durată de viață de 1 500 ore, ca în fig. 19.9. Pentru a simula prima variantă, lagărele sînt alese în serie de cele trei poziții și se pot calcula costurile în funcție de timpul de întreținere, costul lagărelor și timpul de întrerupere care rezultă. Pentru a simula a doua variantă, se aleg trei durate de viață în mod aleator, cea mai scurtă dintre ele determinînd momentul în care vor fi înlocuite lagărele etc. Figura 19.10 reprezintă grafic rezultatele pentru 20 000 ore de operare simulată pentru cele trei cazuri.

Tabelul 19.II sintetizează rezultatele comparative. Planul 2 este ceva mai ieftin decît celelalte două. Deși costul lagărelor este mai mare, cererea de timp pentru întreținere mecanică este mai scăzută și ca urmare, timpul de întrerupere și costurile aferente sînt mai mici. Urmează ca eficiență planul 3. Se pot testa la fel de bine și alte planuri intermediare (între 2 și 3), scurtînd durata admisă de funcționare a lagărelor sub 1 700 ore etc. Vom observa că o modificare în structura costurilor poate ușor altera rezultatele. De exemplu, dacă valoarea unui lagăr nou este 100 \$ în loc de 5 \$, planul 1 este cel mai ieftin, noile totaluri fiind respectiv de 4 250, 4 690 și 4 420 \$.

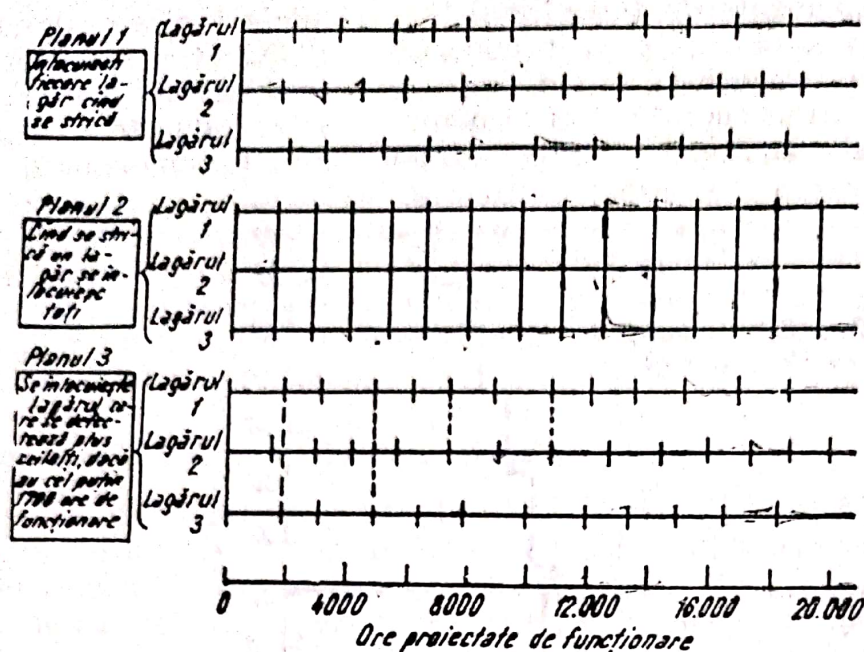


Fig. 19.10. Prezentarea grafică a rezultatelor simulării pentru 3 variante de programe de întreținere.

Tabelul 19.I. Timp de întreținere și costuri pentru înlocuirea lagărelor

Timp pentru întreținere mecanică :

înlocuire un lagăr	5 ore
înlocuire două lagăre	6 ore
înlocuire trei lagăre	7 ore
Salariu orar al mecanicilor	3\$/oră
Costul lagărelor	5\$/buc.
Costuri de întrerupere	2\$/oră

Tabelul 19.II. Rezultatele a 20 000 ore de operare simulată, conform cu cele trei variante de planuri de întreținere

	Plan 1 Înlocuite lagăre cînd se defectează	Plan 2 Cînd se defectează un lagăr se înlocuiesc toate trei	Plan 3 Înlocuire lagăre defecte plus altele care au 1700 ore serviciu sau mai mult
Nr. înlocuiri simple	34	—	28
Nr. înlocuiri duble	—	—	4
Nr. înlocuiri triple	—	14	—
Nr. total de lagăre înlocuite	34	42	36
Total întreruperi ore	170	98	164
Costuri :			
Salarii mecanici	\$ 510	\$ 294	\$ 492
Cost lagăre	170	215	180
Timp întrerupere	340	196	328
TOTAL :	\$ 1020	\$ 705	\$ 1000

Simularea mărimii optime a echipei de reparații

Feorene [3] prezintă un studiu făcut la Eastman Kodak Company privind mărimea echipei de reparații. Problema tratează întreținerea a 20 de mașini automate de către o echipă de șase mecanici. Previziunile producției au indicat necesitatea a încă două mașini pentru a satisface necesarul de capacitate. Se pune întrebarea dacă nu cumva echipa de reparații trebuie mărită. După un studiu atent s-au adunat următoarele date pentru a simula operația de întreținere :

1. O distribuție a timpului de întrerupere care prezintă durata de timp cât mașinile vor funcționa pînă va fi necesară o intervenție.

2. O distribuție a duratei de timp cât o mașină nu funcționează, fiind reparată de către un mecanic.

3. O distribuție a timpului în care mecanicul urmărește mașina, după ce aceasta a fost pornită din nou, pentru a face ajustările finale și a se asigura că este gata de lucru. Aceasta este „timpul în lucru“ al mecanicului.

4. O distribuție a timpului de intervenție în care mașina poate fi reperată în timp ce este încă în stare de funcționare.

5. O distribuție a timpului necesar mecanicului pentru a deveni disponibil în vederea intervenției la mașină.

6. O determinare a procentului cazurilor în care mașinile pot fi întreținute și reparate, fără a fi oprite și a procentului cazurilor cînd mașinile trebuie oprite pentru ajustări și reparații. Studiile au arătat că în două treimi din cazuri mașinile pot fi lăsate să funcționeze (intervenții în lucru) și într-o treime se cere oprirea mașinii (intervenții cu timpi de întrerupere).

Figura 19.11 prezintă structura unui model de simulare utilizat pe un calculator de tip IBM 705. Calculatorul a fost programat să urmeze această structură, selectînd aleator din distribuțiile corespunzătoare date pentru simularea unor anumite intervenții în lucru și cu timp de întrerupere.

Figura 19.12 prezintă curba costului legat de mărimea echipei pentru 22 de mașini în întreținere. Factorii de cost incluși au fost costurile cu salariile și costurile timpului de întrerupere. Figura 19.12 prezintă una dintre aceste curbe, pregătite pentru un număr diferit de mașini în întreținere. Modelul de simulare poate furniza într-un timp scurt informații privind numărul optim de mașini și mărimea echipei de reparații pentru un nivel dat al producției.

Servicii de întreținere

Funcția de întreținere se extinde în afara mașinilor și echipamentului, cuprinzînd și întreținerea fabricii în general, ceea ce se referă la clădiri, terenuri, servicii ca : centrala electrică, sisteme de încălzire și ventilație, sistemul de instalații și sanitar etc. Personalul care asigură

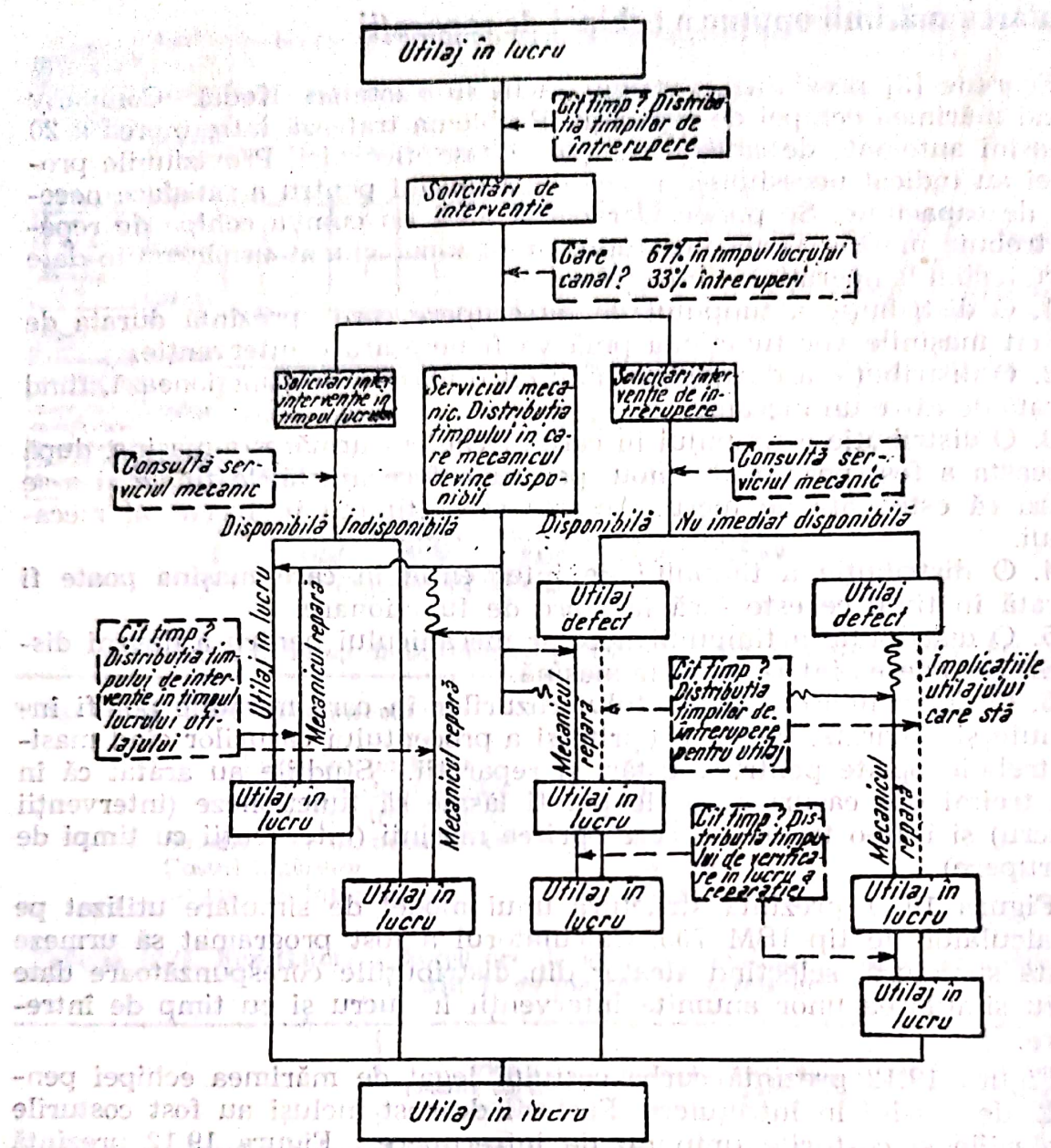


Fig. 19.11. Structura unui model de simulare pentru determinarea mărimii optime a echipei de intervenție (după [3], modificat).

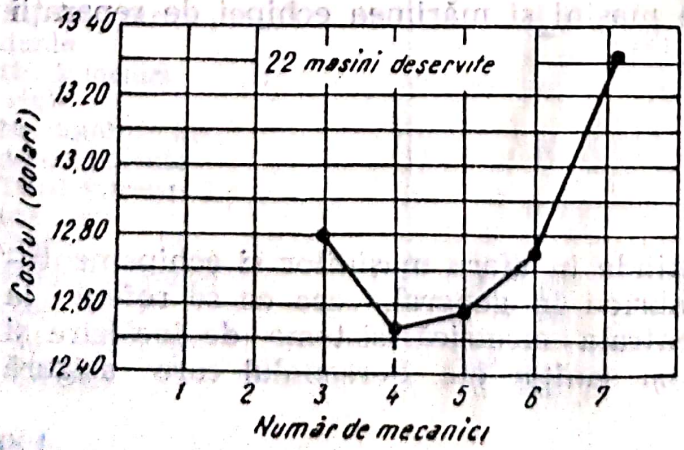


Fig. 19.12. Curba costului în funcție de numărul de mecanici din echipa de intervenție, pentru 22 utilaje deservite (după [3], modificat).

funcția de întreținere a fabricii execută destul de des mici remodelări și realocări ale spațiilor și mașinilor cerute de schimbările de amplasament. De obicei, serviciile de întreținere cuprind un atelier mecanic general în care pot fi fabricate piesele necesare pentru reparații.

Muncă utilă între urgențe. Ceea ce face ca întreținerea mașinilor să fie scumpă sînt costurile de întreruperi. Așa cum am arătat înainte, o echilibrare optimă a costurilor cere un anume procentaj de timp nelucrat de echipa de întreținere. Din punct de vedere al întreținerii mașinilor, acesta este timp pierdut, pentru că echipa trebuie să fie oricînd gata să răspundă solicitărilor de reparații. Totuși, el poate fi utilizat într-o oarecare măsură pentru lucrări care nu sînt deosebit de urgente. Trebuie să recunoaștem că orice lucru este util pe care îl realizează echipa de întreținere în acest timp „liber” deoarece se obține la un cost de salarii egal cu zero, deoarece costul total al echipei de întreținere este fix. Mărirea acestui tip de lucrări „zi liberă” * nu este de obicei suficientă pentru a umple timpul disponibil. Chiar dacă există lucrări de făcut, oamenii de la întreținere, cu înaltă calificare, le evită, fiind aparent ocupați cu alte sarcini, deoarece o bună parte din lucrările ce li se solicită cer o calificare scăzută.

Evidența. Evidențele privind întreținerea sînt de o mare importanță dacă se dorește o analiză rațională a problemelor de întreținere. Care este distribuția defecțiunilor? Ce piese sînt importante și care este durata lor de viață probabilă? Fără evidență putem emite numai presupuneri sau putem utiliza experiența de la alte mașini.

Trebuie să încercăm un program de întreținere preventivă pentru o anumită mașină? Dacă distribuția timpului de întreruperi pentru această mașină indică o variabilitate mare, sau dacă piesele care se defectează sînt foarte scumpe, poate că aceasta nu este indicat. Evidențele sînt necesare la stabilirea politicilor sănătoase de întreținere și la îmbunătățirea procedurilor. Evidența costurilor de întreținere este de asemenea importantă cînd se fac studii de înlocuire.

Rezumat

Conceptele generale de probabilitate ale teoriei firelor de așteptare și ale analizei costurilor variabile au asigurat o bază rațională pentru proiectarea de programe de întreținere preventivă, determinînd mărimile optime ale echipelor de reparații și cerințele de capacitate, astfel încît să poată fi menținută siguranța sistemului de producție. Dezvoltarea continuă a liniilor de producție și a sistemelor automate pune accentul pe politica de întreținere în general și pe întreținerea preventivă în special datorită importanțelor costuri de întreruperi asociate acestor sisteme. Totuși, nu putem spune că trebuie utilizată întotdeauna întreținerea preventivă; utilitatea acesteia depinde de structura costurilor corespunzătoare.

* In original „rainy day” — zi ploioasă (N.T.)

O situație cu totul asemănătoare aceleia a unei echipe de reparații deservind un număr de mașini, este problema alocării operatorilor pentru mai multe mașini automate. În probleme de acest tip, operatorul trece de obicei printr-o secvență de încărcare și descărcare și apoi pornește mașina. Mașina execută operațiile automat până este necesară o nouă intervenție. În unele situații ca la supravegherea războaielor de țesut automate, apariția de fire rupte sau alte dificultăți poate face necesară intervenția la intervale neregulate. Aceste probleme de alocare a operatorilor pentru deservirea mașinilor automate sînt tratate în bibliografia [4].

Întrebări recapitulative

1. Ce feluri de costuri se leagă de defecțiunile mașinilor ?
2. Discutați metodele generale prin care poate fi menținută siguranța sistemelor de producție.
3. Ce este o distribuție a timpului de întreruperi ?
4. Discutați tipurile de situații ale defecțiunilor la mașini, care sînt reprezentate prin curbele a , b și c din fig. 19.1.
5. Care sînt condițiile generale pentru care este indicată întreținerea preventivă pentru o mașină ?
6. Dacă efectuarea întreținerii preventive ia tot atîta timp cît o reparație, are întreținerea preventivă vreun avantaj ? Cum pot modifica situația existența unor costuri mari ale timpului de întrerupere ?
7. Comparați problema întreținerii unei grupe de mașini cu modelul general al firelor de așteptare discutat în cap. 4 și appendixul C.
8. Cum poate ajuta tehnica simulării la evaluarea diferitelor proceduri de întreținere ?
9. În exemplul de simulare dat în acest capitol, care ar fi fost efectul unor costuri ale lagărelor foarte ridicate, să spunem 100\$ bucată ? De ce ?
10. Care sînt responsabilitățile generale ale serviciilor de întreținere ?
11. Care este costul suplimentar cu salariile în organizarea lucrului într-o „zi liberă” pentru echipele de întreținere ?

Bibliografie

- [1] Bowman, E. H., R. B. Fetter. *Analysis for Production and Operations Management* (3rd ed.). Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1967.
- [2] Buffa, E. S. *Operations Management: Problems and Models* (II) ed.). John Wiley, New York, 1968.

Ce înțelegem prin calitate? Pentru un conducător de întreprindere, cuvântul acesta nu sugerează „nurcă” sau „Rolls Royce”, ci mai curînd ceva specific. Stabilirea, menținerea și controlul calității se ocupă deci cu determinarea standardelor de calitate măsurarea și controlul necesar pentru a vedea dacă sînt menținute și respectate standardele stabilite. Aceste standarde pot fi reprezentate de dimensiuni, compoziții chimice ale materiilor prime, duritatea, rezistența, finisarea suprafeței sau factori mai subiectivi, cum ar fi zgîrieturile sau alte defecte posibile, care pot altera aspectul exterior. Standardele stabilite pot foarte bine corespunde unor mărfuri de calitate inferioară.

Cele patru faze ale controlului de calitate

Controlul calității este implicat în (a) politica de determinare a nivelelor dorite ale calității pe piață (b) etapa de proiectare inginerască în timpul căreia se specifică nivelele de calitate care trebuie să îndeplinească cerințele pieții (c) etapa de fabricație, în care este necesar controlul materiilor prime intrate și al operațiilor de producție, pentru a implementa politicile și prescripțiile concepției proiectării și (d) etapa utilizării în domeniul în care instalarea poate afecta calitatea finală și în care trebuie verificate efectiv garanțiile de calitate și performanțele. Aceste 4 faze generale sînt prezentate schematic în fig. 20.1 împreună cu unele din intercorelațiile care apar.

Politica pentru un produs și calitatea

Politicile de bază privind calitatea, trebuie să emane în mod necesar de la nivelele superioare ale organizației economice, deoarece ele sînt strîns legate de cele mai importante decizii privind scopul, direcția de dezvoltare și obiectivele întreprinderii. Factorii determinanți ai acestor politici se bazează pe stabilirea piețelor de desfacere și a gradului lor de absorbție pe diferite nivele de calitate. Aceste politici ridică probleme legate de modul în care calitatea produsului este apreciată în fapt de către consumatori. După aspectul exterior și estetică de proiectare, după

rezistență, siguranță, durată de funcționare sau după altceva? Cât de sensibile sînt costul producției și volumul investițiilor necesare la cerințele de calitate ale unui anumit produs? De aici, legat de posibilitatea pieții, ce amortizare a investiției poate fi prevăzută pentru diferitele

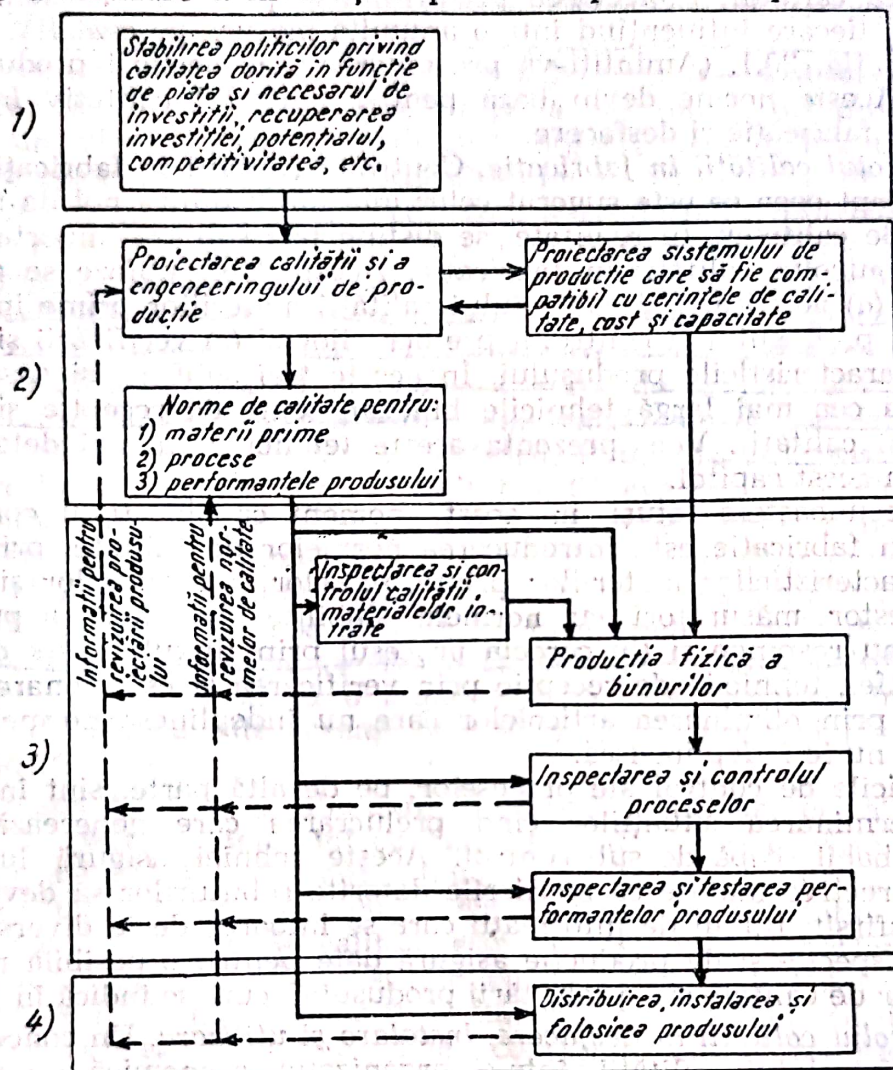


Fig. 20.1. Reprezentarea schematică a rolului controlului calității pe parcursul planificării, fabricării și distribuirii unui produs.

nivele de calitate care pot fi produse? Care este situația concurenței privind diferite nivele de calitate în cadrul unei anumite ramuri? Aceste considerente, ca și altele, pot hotărî spre care sector al pieții se va orienta organizația. În orice caz, obiectivele organizației devin punctul de plecare în stabilirea treptelor de calitate ale produsului și a dotării tehnice a sistemului de producție.

Calitatea și proiectarea produsului. Precizarea în detaliu a calităților ce vor fi produse se face de către proiectantul produsului cînd acesta determină materialele care vor fi utilizate și caracteristicile lor, dimen-



siunile, toleranțele, performanțele produsului și cerințele de întreținere. Există, desigur, o interacțiune între ce poate fi specificat, ce poate fi produs și costul producției. Astfel, se naște un proces complex legat de proiectarea calității, proiectarea produsului și proiectarea sistemului de producție, fiecare influențând într-o anumită măsură pe cealaltă, așa cum reiese din fig. 20.1. (Amintiți-vă prezentarea : „proiectării producției” în cap. 7). Aceste norme devin bază pentru controlul calitativ în timpul fazelor de fabricație și desfacere.

Controlul calității în fabricație. Controlul calității în fabricație reprezintă de fapt ceea ce este sugerat celor mai mulți dintre noi de termenul „control de calitate”. În realitate, se disting trei subfaze importante care descriu controlul calității în fabricație. Aceste trei subfaze se grupează în jurul : (a) verificării și controlului calității materiilor prime intrate (b) verificării produsului și controlul prelucrărilor și (c) verificării și testelor privind caracteristicile produsului. În aceste trei subfaze își găsesc aplicabilitatea cea mai largă tehnicile binecunoscute de recepție și control statistic al calității. Vom prezenta aceste tehnici ceva mai detaliat mai departe în acest capitol.

Să recunoaștem totuși în acest moment că obiectivul controlului calității în fabricație este introducerea normelor de calitate, prin măsurarea caracteristicilor materiilor prime, pieselor și produselor și compararea acestor măsurători cu normele stabilite așa încât să putem (a) accepta sau respinge și (b) corecta procesul prin fluxul invers de informații. Astfel, tehnicile de recepție prin verificarea și eșantionare asigură controlul prin eliminarea articolelor care nu îndeplinesc normele sau e posibil să nu le îndeplinească.

Tehnicile de control ale proceselor, pe de altă parte, sînt îndreptate spre determinarea situațiilor cînd prelucrarea care generează măsurările probabil scapă de sub control. Aceste tehnici asigură luarea de măsuri corective înainte ca pierderile datorite rebuturilor să devină prea mari. În sfîrșit, fluxul de informații care se întoarce de la diversele operații de inspecție și de producție asigură date pentru o posibilă revizuire a normelor de calitate și a proiectării produsului, cum se indică în fig. 20.1.

Controlul calității în desfacere, instalare și utilizare. Un concept integral al controlului calității într-o organizație economică nu se poate limita la stabilirea de reguli generale, la determinarea normelor de calitate ale produsului sau la controalele stabilite pentru etapa fabricației. Controlul calității trebuie să fie extins și în fazele de desfacere, instalare, și utilizare. Pentru utilizatorul final, calitatea nu înseamnă ceva determinat printr-o anumită politică, proiectat de ingineri, sau obținut în procesul de fabricație, ci performanțele complete ale produsului ajuns în mîinile sale. Un articol perfect conceput și realizat poate fi deteriorat cu ocazia desfacerii, sau printr-o instalare incorectă. Ca urmare, pentru unele tipuri de produse, procedurile de control trebuie să fie extinse în aceste faze și trebuie privite aproape ca o parte a procesului de fabricație. În realitate, dacă adoptăm punctul de vedere al acestei cărți, de conducere generală a operațiilor privim aceste procese „post-producție” de desfacere și instalare, ca parte a procesului integral care cere controale

asupra calității. La urma urmelor, chiar și procesele de producție cel mai bine proiectate și optim controlate, vor lăsa să treacă unele articole defecte. Astfel, politicile și practicile privitoare la garantarea calității pot fi în ultimă analiză hotărâtoare dacă utilizatorul final este sau nu mulțumit de calitatea produsului.

Organizarea în privința calității. Până în acest punct, discuția noastră a subliniat faptul că lozincă des utilizată „calitatea privește pe toți” exprimă un adevăr. Toate nivelele unei organizații sînt, într-un fel sau altul, interesate în calitatea produsului, fie că este vorba de stabilirea politicii generale, concepția de proiectare a produsului, proiectarea sistemului de producție, producția în sine sau desfacerea. Figura 20.1., prin prezentarea schematică a relațiilor dintre segmentele principale ale controlului calității, încearcă să ne concentreze atenția asupra caracterului cuprinzător al funcției calității. În încercarea de organizare a activității legate de calitate este evident necesară o coordonare unitară a programului privind calitatea. Am discutat mai înainte despre necesitatea unei abordări integrate a problemei organizării. Putem face aceeași afirmație cu privire la organizarea privind calitatea. Cineva din întreprindere trebuie să aibă toată răspunderea în această direcție, pentru a putea coordona obiectivele de calitate pe parcursul diferitelor faze prezentate în fig. 20.1 și în cele discutate pînă acum. Aceasta înseamnă că persoane cu această sarcină trebuie să aibă un loc în nivelele superioare ale structurii organizatorice. Poziția sa exactă în ierarhie, puterea și influența de care dispune, variază de la o organizație la alta, deoarece importanța acordată calității nu este aceeași pentru toate produsele și pentru toate întreprinderile.

Cu toate acestea, o abordare integrată a problemei calității este importantă pentru toate întreprinderile. Într-o organizație în care calitatea poate fi un factor determinant, vom întîlni un director al controlului calității, subordonat unui vicepreședinte cu fabricația. În întreprinderile unde funcția de calitate este de mai mică importanță, datorită naturii produselor, piețelor și ramurii respective, coordonarea pe tema calității poate fi lăsată în seama unui funcționar. În ambele cazuri, totuși, trebuie recunoscută necesitatea unei concepții unitare asupra funcțiilor legate de calitate, pentru a realiza un control eficient în vederea realizării obiectivelor întreprinderii.

Controlul calității în producție

Trebuie făcută o demarcare între verificare și controlul calității. Recepția implică stabilirea unei căi de măsurare a caracteristicilor calitative și compararea acestora cu normele de calitate. Evident, în acest fel, piesele bune sînt separate de piesele defecte, dar nu rezultă nici o acțiune de corectare. Controlul ridică întrebarea cînd și cît de des să se facă verificarea și cîte unități să fie verificate. Cînd apar unități defecte, controlul determină cauzele și le corectează, astfel încît să nu mai apară

asemenea defecte. Conceptul de probabilitate joacă un rol dominant în fazele de control, prin elaborarea planurilor de control prin eşantioane, selectiv, care pot controla calitatea rezultată şi prin procedurile diagramei de control care urmăreşte continuu maşinile sau prelucrările determinante.

Elementul de judecată

Variabilitatea nu este o excepţie, ci caracterizează măsurările în domeniul producţiei, ceea ce trebuie să arătăm acum este că parte din oscilaţiile pe care le observăm efectiv reprezintă erori de măsurare şi acest aspect joacă un rol însemnat în procesul de măsură. S-au făcut multe experimente care demonstrează aceasta în diverse feluri. Spre exemplu, pentru a verifica munca inspectorilor la o întreprindere, s-au amestecat 50 piese cunoscute ca avînd defecte cu un grup de piese bune şi s-au trecut prin procedura obişnuită de verificare. Controlorii neavertizaţi au reţinut numai 39 de piese defecte. Incluzînd cele 11 piese defecte rămase, lotul a fost trimis din nou, dar s-au găsit numai 9 defectiuni. La a treia trecere s-a mai găsit una. Trecherile ulterioare nu au reuşit să o depisteze pe ultima, aceasta a fost găsită de un client.

Cum s-a putut întîmpla aceasta? Controlorii dispuneau de instrumente de măsurare de înaltă precizie, şi erau instruiţi să le utilizeze. Răspunsul este că folosirea acestor instrumente de precizie cere şi c anume judecată, în special pentru cazurile „la limită”. Mecanicii calificaţi numesc elementul de judecată în folosirea micrometrelor şi calibrelor de precizie „simţ”. De exemplu, în utilizarea unui micrometru de precizie simţul îi spune operatorului cît de strîns să întoarcă axul pe piesă. După cum se execută această operaţie pot rezulta citiri foarte diferite.

Pentru a demonstra importanţa acestui element de judecată, Lawshe şi Tiffin au executat teste de control cu 245 controlori experimentaţi. Fiecare om a fost testat pe instrumente pe care le utilizează curent, folosind piese standardizate de dimensiuni cunoscute. Fiecare instrument folosit avea o anumită precizie. Fig. 20.2 prezintă procentul de controlori care nu au îndeplinit normele stabilite pentru instrumentul folosit. Rezultatele sînt surprinzătoare. Făcînd o medie pe întregul experiment, rezultă că marea majoritate a controlorilor nu au putut folosi instrumentele la nivelul preciziei standard. Pe fiecare instrument rezultatele sînt şi mai proaste. Este semnificativ faptul că precizia citirii nu se colorează cu vîrsta, vechimea în întreprindere sau durata de timp în meseria actuală. Devine evident că „judecata” cerută în aceste tipuri de măsurători este mai mare decît se crede în general.

În multe alte feluri de controale, elementul de judecată poate fi chiar mai accentuat sau controlul poate depinde în întregime de judecată. Spre exemplu, cînd este o suprafaţă zgîriată în asemenea măsură încît să justifice respingerea piesei?

În ce moment, însumarea micilor defecte de vopsire justifică respingerea? Atunci cînd criteriul este aspectul, sînt greu de stabilit norme

precise și de determinat când s-a realizat această normă. Deci, judecata explică satisfăcător pentru ce câteodată piese incorect executate sînt acceptate de controlori iar piese bune sînt respinse.

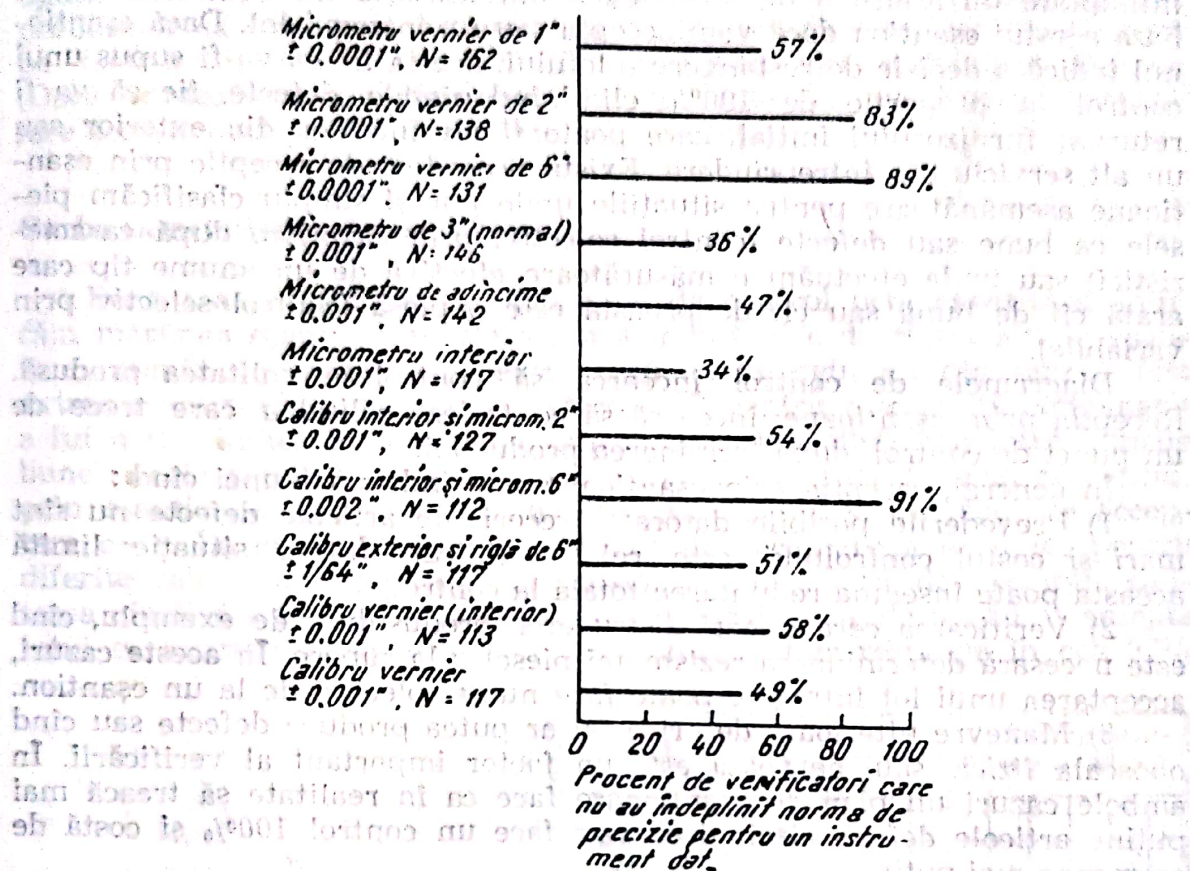


Fig. 20.2. Rezultatele studiului asupra erorilor în măsurătorile de precizie (Adaptat după: C. H. Lawshe and J. Tiffin, „The Accuracy of Precision Instrument Measurement in Industrial Inspection“, Journal of Applied Psychology, pp. 413—419, dec. 1945).

Tipuri de control

Controlul asupra calității se poate realiza în general, în două moduri. Mai întâi, putem controla prelucrările propriu-zise din care rezultă piesele, astfel încît să se poată face ajustări și corecții imediat ce este necesar, și să nu mai apară piese defecte. Acest procedeu este, desigur, o aplicare directă a diagramei de control statistic.

În al doilea rînd, putem controla nivelul calității produselor executate într-un punct de verificare, pentru a ne asigura că în medie, nu vor rezulta mai multe articole defecte decît un anume procentaj stabilit. Această procedură presupune că piesele sau produsele sînt deja executate și dorim să stabilim proceduri și reguli de decizie care să asigure celor

ieșite o calitate la nivelul celei specificate sau mai bună. Acest grup general de metode este cunoscut sub numele de „recepție prin eșantionare”.

În cazul cel mai simplu de recepție prin eșantionaj, extragem la întâmplare un eșantion de mărimea n din întregul lot N și hotărîm pe baza acestui eșantion dacă vom accepta sau nu întregul lot. Dacă eșantionul indică o decizie de respingere a lotului, acesta fie că va fi supus unui control în proporție de 100%, eliminînd piesele defecte, fie că va fi returnat furnizorului inițial, care poate fi un furnizor din exterior sau un alt serviciu din întreprindere. Există proceduri de recepție prin eșantioane asemănătoare pentru situațiile unde pur și simplu clasificăm piesele ca bune sau defecte (control selectiv, prin eșantion, după caracteristici) sau unde efectuăm o măsurătoare efectivă de un anume tip care arată cît de bună sau cît de proastă este o piesă (control selectiv prin variabile).

Diagramele de control încearcă să controleze calitatea produsă. Recepția prin eșantioane încearcă să controleze calitatea care trece de un punct de control, după terminarea producției.

În general, recepția prin eșantioane este indicată atunci cînd :

1) Prevederile posibile datorate trecerii de articole defecte nu sînt mari și costul controlului este relativ ridicat. Într-o situație limită aceasta poate însemna renunțarea totală la control.

2) Verificarea cere uneori distrugerea produsului : de exemplu, cînd este necesară determinarea rezistenței pieselor la rupere. În aceste cazuri, acceptarea unui lot întreg se poate face numai plecînd de la un eșantion.

3) Manevre ulterioare de orice fel ar putea produce defecte sau cînd oboseala fizică sau nervoasă este un factor important al verificării. În ambele cazuri un plan de eșantionare face ca în realitate să treacă mai puține articole defecte decît dacă s-ar face un control 100% și costă de asemenea mai puțin.

Controlul prin eșantioane după caracteristici

Procedura de verificare prin eșantioane după caracteristici are ca rezultat simpla clasificare a pieselor ca bune sau defecte. Pentru dimensiunile piesei, aceasta se poate realiza de obicei prin utilizarea unor cali-

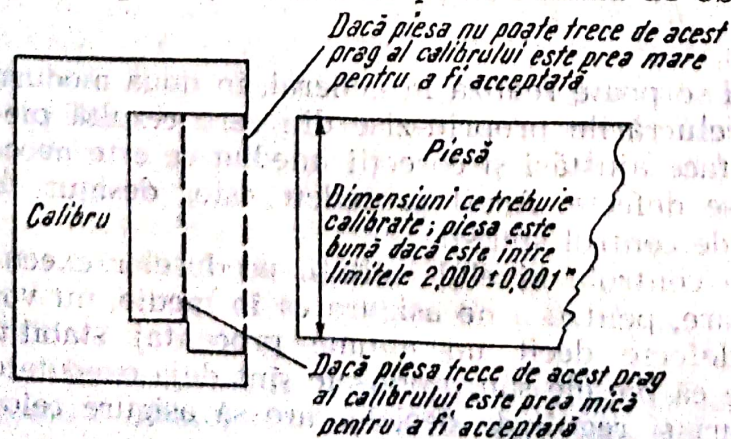


Fig. 20.3. O piesă măsurată cu un calibru. Nu se înregistrează dimensiuni efective ci se clasifică simplu piesele în bune sau defecte.

bre cu o caracteristică trece-nu trece, ca în fig. 10.3. În cazul în care verificarea se referă la defecte de vopsire a suprafeței sau alte caracteristici ale aspectului exterior, se va face, de asemenea, clasificarea în cele două grupe corecte sau defecte. În toate cazurile, deci, verificarea prin eşantioane după caracteristici foloseşte nişte criterii de caracterizare a produselor ca bune sau defecte; metodele statistice utilizate se bazează pe distribuţii, cum sînt distribuţia binomială sau distribuţia Poisson (Dacă acestea sau alte distribuţii sînt adecvate sau nu situaţiei particulare aceasta depăşeşte cadrul prezentării de faţă).

Curbe caracteristice de operare (OC)

Pentru a preciza un anumit plan de control prin eşantioane indicăm mărimea eşantionului aleator n şi numărul c de respingeri în eşanţion (număr de acceptare), permis fără ca întregul lot din care a fost extras eşantionul să fie respins. Curba OC pentru o anumită combinaţie a lui n şi c indică în ce măsură planul realizează distincţia între loturile bune şi cele greşite. Fig. 20.4 este o curbă OC pentru un plan de control prin eşantioane, cu mărimea eşantionului $n=50$ şi numărul de acceptare $c=1$. Ea evidenţiază probabilitatea de acceptare a unui lot pentru diferite valori ale procentului de defecte din lot. Dacă, de exemplu, calitatea efectivă a lotului ar fi 2% defectă, eşantioanele de $n=50$ ar accepta lotul ca satisfăcător în cca 73% din cazuri şi l-ar respinge în cca 27%

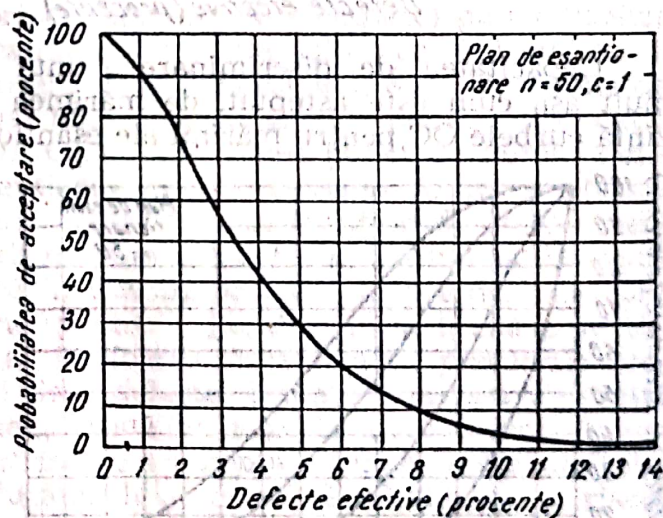


Fig. 20.4. Curbă de operare caracteristică (OC) pentru un plan de eşantionare cu $n=50$ şi $c=1$ (după [2], modificat).

din cazuri. Cu alte cuvinte probabilitatea de a găsi cel mai mult un defect în eşantioane luate întâmplător dintr-un asemenea lot este de 73%, în timp ce probabilitatea de a găsi mai mult decît un defect este de numai 27%. De notat, totuşi, că atunci cînd calitatea efectivă a lotului ar fi ceva mai slabă, să spunem 5% defectă, probabilitatea de acceptare a acestor loturi va scădea foarte mult, pînă la cca 27%. Aceasta este situaţia pe care am dori s-o avem într-un plan de control, prin eşantioane. Cînd calitatea efectivă este bună, dorim

să avem o probabilitate de acceptare mare, dar cînd calitatea efectivă este slabă, dorim ca probabilitatea de acceptare să fie scăzută. Astfel, curba OC arată cit de bine face distincția un plan dat.

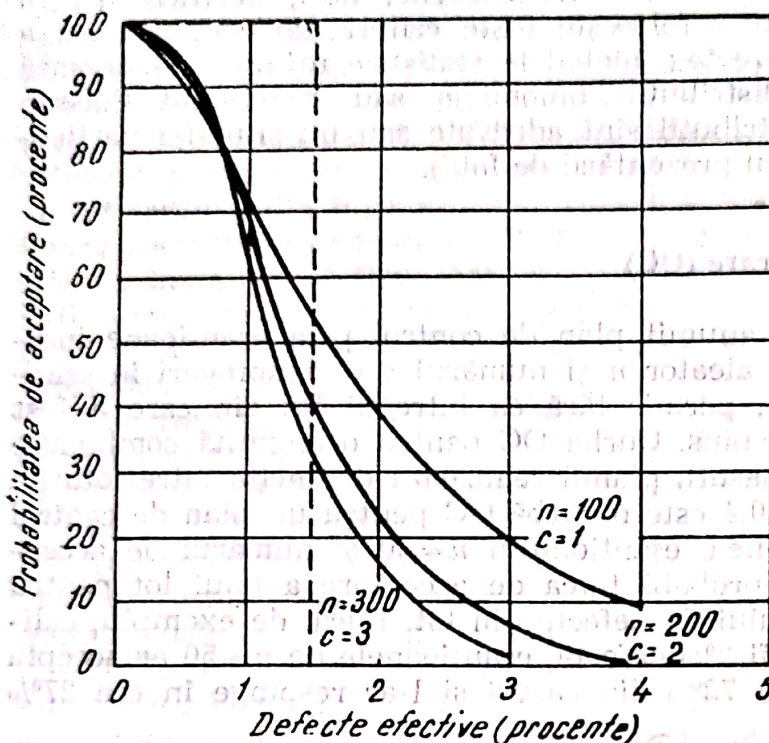


Fig. 20.5. Curba OC pentru diferite mărimi ale eșantioanelor cu numere de acceptare proporționale cu mărimea eșantioanelor (după [2], modificat).

Capacitatea de discriminare a unui plan de eșantionare depinde mult așa cum este așteptat, de mărimea eșantionului. Figura 20.5 prezintă curbele OC pentru mărimi ale eșantionului de 100, 200 și 300, numă-

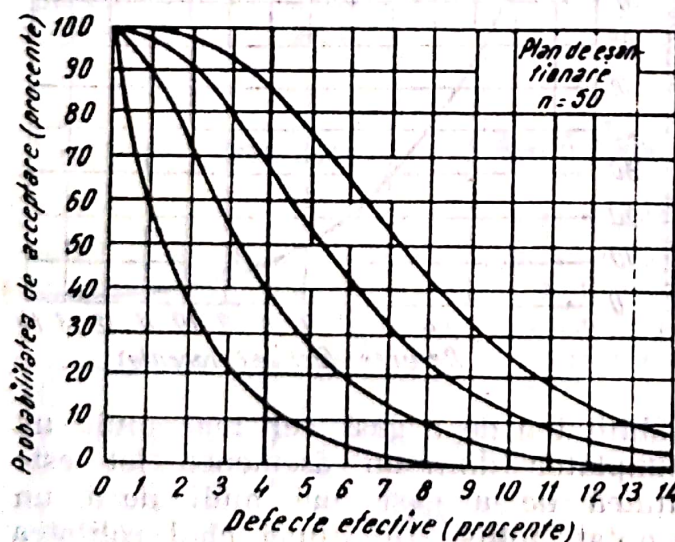


Fig. 20.6 Curba OC cu numere de acceptare diferite pentru o mărime a eșantionului $n=50$ (după [2], modificat).

rul de acceptare rămînînd proporțional cu numărul eșantionului. Observați cum curba OC devine mai abruptă pe măsură ce mărimea eșantionului crește. Dacă facem o comparație între capacitățile de discriminare ale celor trei planuri reprezentate în fig. 20.5 observăm că toate trei vor

accepta loturi cu cca 0,7% defecte în cca 83% din cazuri (punctul aproximativ de intersecție a celor trei curbe). Totuși, dacă vom coborî calitatea efectivă la 3,0% defecte, planul cu $n=100$ acceptă loturi în cca 20% din cazuri, cel cu $n=200$, în cca 6% din cazuri, iar cel cu $n=300$ în mai puțin de 1% din cazuri. Planurile cu dimensiuni mai mari ale eșantioanelor sînt în mod hotărît mai eficiente.

Ce se întîmplă cu o curbă OC dacă se schimbă numai numărul de accepere? Figura 20.6 prezintă curbe OC pentru un eșantion de $n=50$ și numere de acceptare de $c=0, 1, 2$, și 3. Se observă că efectul este în principal schimbarea nivelului curbei OC, astfel încît numerele de accepere mai mici fac planul mai „strîns”, adică mențin scăpările de calitate la procentaje mai mici.

Un plan de control prin eșantionare care face o distincție perfectă între loturile bune și cele cu defecte ar avea o curbă OC verticală, adică ar urma linia punctată din fig. 20.5. Pentru toate loturile avînd procentul de defecte de la stînga liniei punctate, probabilitatea de accepere este de 100%. Pentru toate loturile avînd procentul de defecte de la dreapta liniei, probabilitatea de accepere este zero.

Din păcate, singurul plan care ar putea atinge această putere de discriminare este unul care cere o verificare de 100%. Deci, justificarea unei recepții prin eșantioane se face prin realizarea unui echilibru între costurile de verificare și costul probabil al trecerii de piese defecte. Prin alcătuirea unor planuri de control discriminatorii (mărind dimensiunea eșantionului) sau mai strînse (micșorînd numerele de accepere) putem realiza orice nivel dorit de scăpări de calitate, dar la costuri de control mai mari. Activitatea mai intensă de verificare se va reflecta în costuri probabile de trecere a unor piese defecte mai mici; la un anumit punct, combinația acestor costuri variabile prezintă un minim. Acest punct de minim definește planul de control prin eșantioane cel mai rentabil pentru o situație dată. Deci, enunțat simplu, pentru a justifica un eșantion de 100%, pierderile probabile datorate trecerii de produse defecte trebuie să fie mari în comparație cu costul verificării, ducînd probabil la pierderi de contracte și clienți. Pe de altă parte, pentru a justifica lipsa totală a verificării, costul acestuia ar trebui să fie foarte mare față de pierderile probabile ca urmare a trecerii de piese defecte. Situația cea mai obișnuită se situează între aceste extreme: există un risc de a nu accepta loturi care în realitate sînt bune și un risc de a accepta loturi care sînt defecte. Primul este numit riscul producătorului, iar cel de-al doilea — riscul consumatorului.

Riscul producătorului și riscul consumatorului. Ne putem referi la acestea foarte exact, folosind o curbă OC caracteristică. Figura 20.7 prezintă grafic următoarele patru definiții:

AQL este nivelul acceptabil de calitate, loturile la acest nivel de calitate sînt considerate bune și dorim să avem o probabilitate de accepere ridicată;

α este riscul producătorului, adică probabilitatea ca loturile cu nivelul de calitate AQL să nu fie acceptate; de obicei $\alpha=5\%$;

$LTPD$ este toleranța lotului, în procent de defecte — linia despărțitoare între loturile bune și cele defecte; la acest nivel de calitate, loturile sînt considerate slabe și dorim să avem o probabilitate scăzută de acceptare a lor;

B este riscul consumatorului, adică probabilitatea ca loturile cu nivelul de calitate $LTPD$ să fie acceptate; de obicei, $B=10\%$.

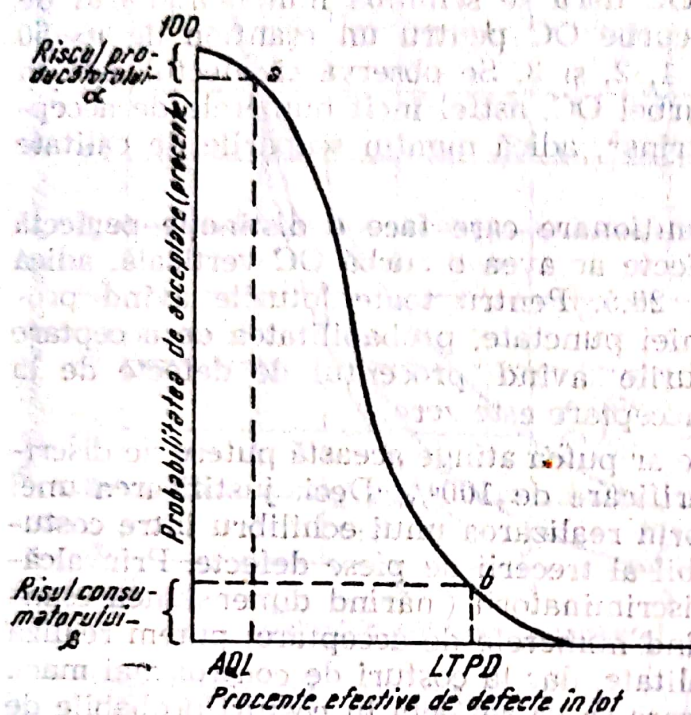


Fig. 20.7. Descrierea completă a unui plan de eșantionare. O curbă OC trecînd prin punctele a și b satisface condițiile puse de α și NAC și β și $TLPD$, determinînd astfel un plan de eșantionări cu un n și c dat (NAC =nivel acceptabil al calității, $TLPD$ =toleranță pe lot de procente defectiuni).

Cînd stabilim nivele pentru fiecare din aceste patru valori, determinăm pe curba OC pe care o dorim, două puncte critice a și b din fig. 20.7.

Precizarea unui plan de control prin eșantioane. Pentru a preciza un plan care respectă cerințele pentru AQL, $LTPD$ și B , trebuie să găsim o combinație a lui n și c pentru o curbă OC care trece prin punctele a și b din fig. 20.7. Modalitatea practică de a determina planuri particulare, adecvate situației, e legată de folosirea tabelelor standard, diagramelor sau formulelor, utilizarea tuturor acestora permite precizarea unei combinații a mărimii eșantionului cu numărul de acceptare care aproximează cel mai bine cerințele pentru AQL, $LTPD$ și B . *

Curbe ale calității medii ieșite (AOQ)

Dacă presupunem că atunci cînd controlul prin eșantioane respinge un lot, acesta este apoi supus unui control 100%; planul de control asigură în mod precis că media calității se va înscrie între anumite limite.

* Pentru exemple, vezi [2], [3], [7].

Fig. 20.8 prezintă fluxul de piese bune și defecte într-un plan tipic de control prin eșantioane, și baza de calcul pentru media ieșită (AOQ). Se verifică un eșantion la întâmplare de mărime n . Orice defecte întâlnite în eșantion sînt înlocuite cu piese bune, așa încît eșantionul sfîrșește prin a conține numai piese bune. Pe baza numărului de defecte c' , găsite în eșantion, se acceptă întregul lot dacă $c' \leq c$ și se respinge dacă $c' > c$.

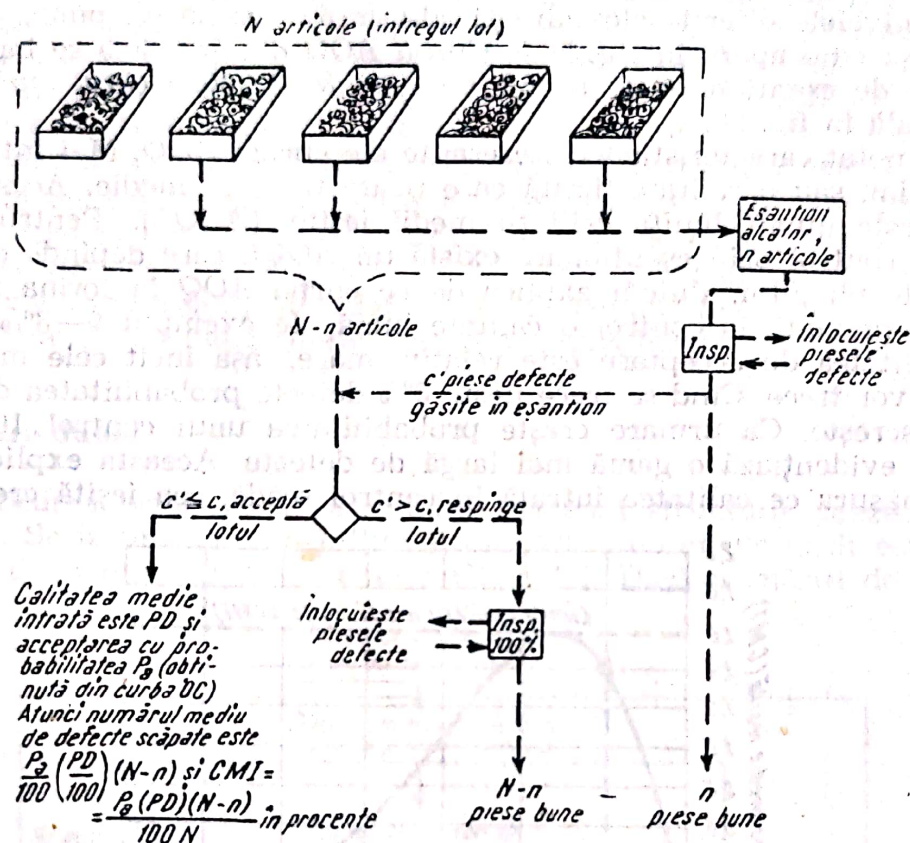


Fig. 20.8. Fluxul de piese bune și defecte într-un plan tipic de recepție prin eșantionare și baza pentru calculul calității medii ieșite (AOQ).

Dacă lotul este respins, se procedează la un control 100% și toate piesele defecte găsite se înlocuiesc cu piese bune.

În acest exemplu, întregul lot de N piese nu va conține defecte. Dacă totuși lotul este acceptat pe baza eșantionului, ne asumăm riscul ca să fi trecut unele piese defecte. Numărul mediu de defecte se poate calcula cu ușurință. Dacă procentajul calității medii admise este PD , acceptarea apare cu probabilitatea P_a (luată direct din curba OC pentru procentul de defecte PD). Numărul mediu de defecte rezultă simplu ca produs între partea de defecte primite și numărul rămas în lot, ponderat cu probabilitatea ca să se realizeze acceptarea sau $(P_a/100) (PD/100) (N-n)$. Calitatea medie ieșită (AOQ) este în acest caz exprimată procentual:

$$\frac{\text{Nr. mediu defecte} \times 100}{\text{Nr. piese în lot}} = \frac{P_a(PD)(N-n)}{100N}$$

Din această relație se poate construi o curbă pentru orice plan dat de control prin eșantioane, care indică valoarea lui AOQ pentru orice nivel de calitate admisă. O asemenea curbă se poate trasa prin atribuirea de diferite valori calității admise efective, determinând din curba OC probabilitatea de acceptare pentru calitatea admisă respectivă, P_a . Aceste cifre se pot apoi substitui în formula de calcul a AOQ. Fiecare calcul pentru nivelele diferite ale calității admise determină un punct pe curba AOQ, așa cum apare în fig. 20.9. Curba AOQ din fig. 20.9 se bazează pe un plan de eșantionare cu $n=50$, $c=1$, și $N=1\,000$ a cărui curbă OC e prezentată în fig. 20.4.

De notat caracteristicile interesante ale curbei AOQ. Mai întâi, există un maxim, sau o calitate limită care poate trece în medie. Acest vîrf al curbei este numit limita calității medii ieșite (AOQL). Pentru fiecare plan de control prin eșantionare există un AOQL care depinde de caracteristicile planului. Putem explica de ce curba AOQ ia forma ilustrată. Cînd se prezintă la control o calitate bună, de exemplu 0—3% defecte, probabilitatea de acceptare este relativ mare, așa încît cele mai multe defecte vor trece. Cînd se trece peste 3% defecte probabilitatea de acceptare descrește. Ca urmare crește probabilitatea unui control 100%, așa încît se evidențiază o gamă mai largă de defecte. Aceasta explică faptul că pe măsură ce calitatea intrată în control scade, cea ieșită crește.

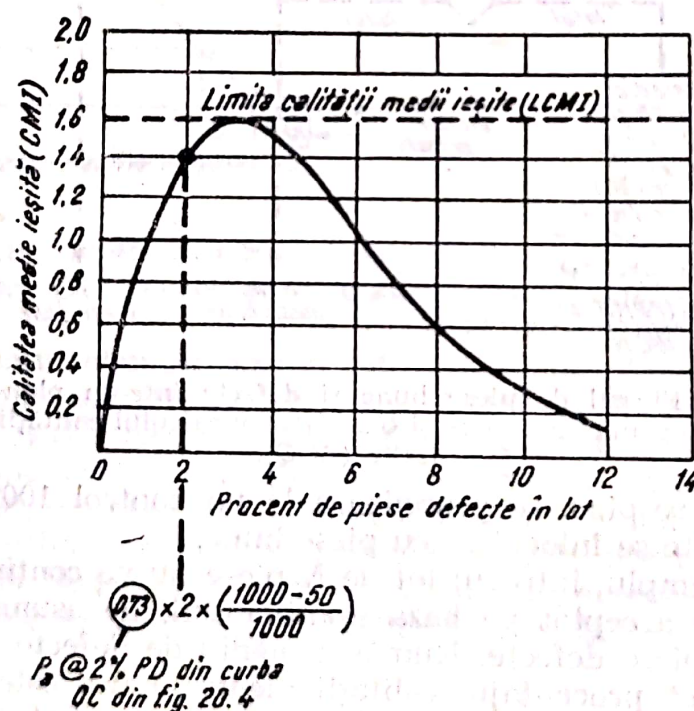


Fig. 20.9. Curba de calitate medie ieșită (AOQ) pentru un plan de eșantionare cu $n=50$, $c=1$ și mărimea lotului $N=1\,000$; curba OC este cea din fig. 20.4.

Esența caracteristicilor planului nostru de control prin eșantionare este că media calității ieșite nu va depăși niciodată aproximativ 1,6% defecte, indiferent de calitatea intrată. Volumul verificării cerute pentru

menținerea normelor de calitate se adaptează automat la situație. Când calitatea admisă e foarte slabă, poate chiar 10% diferită, planul de control reacționează prin respingerea mult mai frecventă a loturilor, cerind controale 100% astfel încât pierderea medie de calitate e de cca 3%. Pe de altă parte, când calitatea admisă e excelentă, pune la 4% defecte, planul de control trece loturi mai frecvent și volumul de control necesar este mai mic. Controlorii își vor utiliza de obicei timpul evidențiind loturile de defecte și nu-și vor pierde timpul reexaminând pe cele bune.

Nivelul AOQL care ar trebui ales pentru o situație dată depinde de consecințele calității necorespunzătoare. Dacă operațiile care urmează pot depista defectele fără a perturba producția, AOQL poate fi destul de larg.

Aceste controale probabilistice asupra calității ieșite sînt ideale, în special pentru că putem mai bine stabili nivelul de calitate cerut de considerații economice și tehnice și apoi — stabili controale care garantează eficiența medie necesară, utilizînd munca de control mai intens cînd apar loturi defecte și mai puțin intens cînd apar loturi bune.

Eșantionare dublă

Verificarea prin eşantionare dublă urmează structura prezentată în fig. 20.10. Se ia un eşantion inițial și numărul de defecte găsit este comparat cu două numere de acceptare C_1 și C_2 . Dacă numărul de defecte

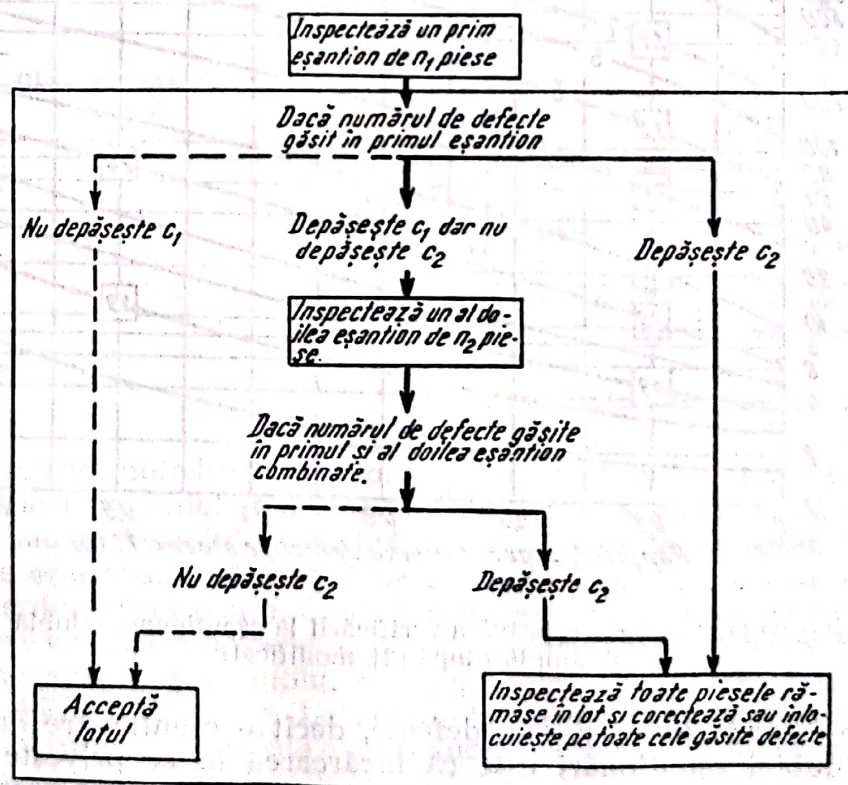


Fig. 20.10. Verificarea prin eşantionare dublă (după [2]).

este mai mic decât, c_1 , lotul este acceptat. Dacă depășește numărul de acceptare mai mare, c_2 , lotul este respins și verificat 100%. Dacă însă numărul de defecte este între c_1 și c_2 , se ia un al doilea eșantion.

Dacă numărul total de defecte găsit în eșantionul combinat depășește c_2 , lotul este respins și verificat 100%. Dacă este mai mic decât c_2 , lotul este acceptat.

Avantajele dublei eșantionări constau în posibilitatea reducerii volumului total de verificare necesar. Acesta apare pentru că eșantionul inițial este mai mic decât cel cerut de un plan comparabil de control prin eșantionare simplă. Dacă lotul poate fi acceptat pe baza primului eșantion, se va realiza o economie în controlul total. Economia de control este cea mai mare pentru loturile de dimensiuni mari, la care calitatea intactă este destul de bună. Fig. 20.11 prezintă o comparație a volumului de control cerut în cazul eșantionării simple și duble. În ce privește eșantionarea dublă, nespecializații sînt atrași de ideea de „a dispune de a doua posibilitate”. De fapt, acest avantaj psihologic este iluzoriu. Probabilitatea de acceptare este determinată de curba OC, indiferent de plan și se poate proiecta o eșantionare simplă, care să asigure o discriminare mai

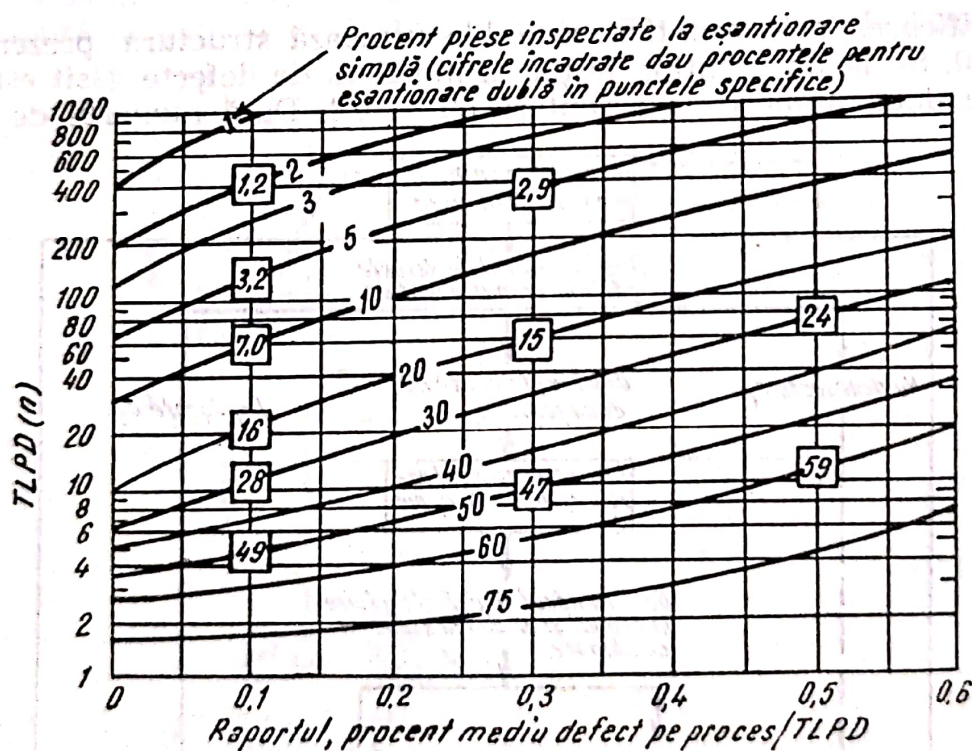


Fig. 20.11. Mărimea relativă a verificării la eșantionarea dublă și simplă (după [2], modificat).

mare între loturile bune și cele defecte, decât o eșantionare dublă. Dezavantajul dublei eșantionări este că încărcarea în ce privește controlul variază considerabil. Ca și în cazul anterior, planurile sînt precizate prin patru cerințe. AQL, LTPD, și β . Se pot utiliza apoi tabele, grafice și for-

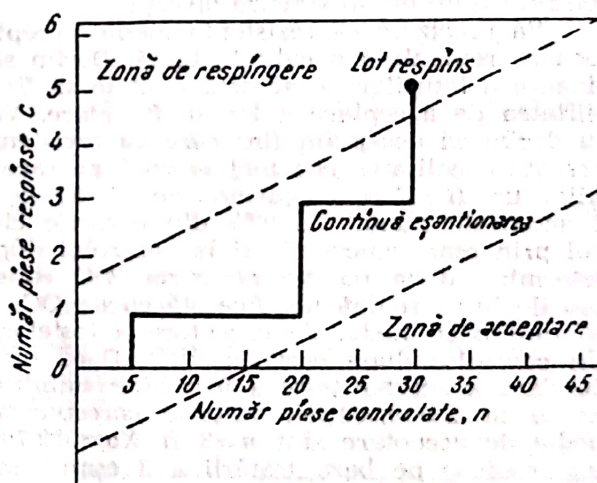
mule pentru alegerea unui plan de control prin eşantionare dublu care are curba OC dorită*.

Planuri secvențiale de eşantionare

Dubla eşantionare are avantajul unor costuri de verificare mai scăzute pentru un nivel dat de siguranță, avantaj concretizat prin luarea unui eşantion inițial, mai mic pe baza căruia fie lotul este, acceptat, fie lotul respins, fie se ia un al doilea eşantion. De ce să nu împingem această idee mai departe? Acesta este în principal ceea ce face planul de eşantionare. Se extrag eşantioane în mod aleator, ca și pînă acum. Dar după ce fiecare eşantion a fost verificat, se analizează rezultatele cumulate și se ia o decizie de (a) acceptare a lotului sau (b) respingere a lotului, sau (c) luarea unui alt eşantion. Mărimile eşantionului pot fi cît de mici, pînă la $n=1$.

Figura 20.12 prezintă structura grafică a unui plan secvențional de reducere și mai mare a volumului total de verificare cerut pentru menținerea unui nivel de protecție dat, față de eşantionare dublă. În planul din fig. 20.12 trebuie verificate minimum 15 articole pentru a accepta un lot.

Fig. 20.12. Plan de eşantionare secvențială.



Dacă pe grafic, numărul de respingeri crește într-atît încît punctul cade pe/sau deasupra liniei superioare, lotul este respins. Dacă punctul ar cădea pe/sau dedesubtul liniei inferioare, lotul este acceptat. Se continuă luarea de eşantioane pînă cînd se întîmplă unul din aceste evenimente. Ca și la dubla eşantionare, dezavantajul este că încărcarea în ce privește verificarea variază considerabil. Ca și în cazul planurilor de control prin eşantioane simplu sau dublu, un plan secvențial e precizat prin patru cerințe: AQL , $LTPD$ și β . La rîndul lor, aceste cerințe determină curbe OC ale planurilor secvențiale care îndeplinesc cerințele funcționale.

* Vezi [2].

Recepția prin eşantionare după variabile

La recepția prin eşantionare după variabile, executăm și înregistrăm măsurări efective în loc să facem o simplă clasificare a articolelor bune sau defecte, ca la eşantionarea după caracteristici. Această diferență de procedură schimbă detaliile determinării unui plan care să corespundă specificațiilor noastre privind calitatea acceptabilă, riscul producătorului, calitatea minimă acceptabilă și riscul consumatorului, deoarece distribuția statistică potrivită este în acest caz distribuția normală și nu distribuția unor proporții. În plus, trebuie schimbate metodele de verificare. Totuși, din punct de vedere al concepției, ideile de bază cu care se realizează controlul calității ieșite rămân aceleași. Capacitatea de discriminare a unui plan, este reprezentată tot de o curbă OC care prezintă probabilitatea de acceptare pentru diferite nivele ale calității efective. Precizarea unui plan care asigură protecția dorită urmează în general aceeași procedură.

Exemplu :

Să luăm ca exemplu controlul calității unui fir care cere în utilizare o rezistență mare la întindere. Primim firele în bobine, luăm eşantioane de fire și testăm rezistența la întindere. Sîntem dispuși să acceptăm fire cu o rezistență mai mare decît cea necesară, dar dorim să fim suficient de siguri de rezistența minimă ; deci controlul este într-o singură direcție.

Să precizăm că rezistența medie acceptabilă este 400 000 psi (pounds pe inch²), ceea ce reprezintă o calitate bună. Dorim să facem astfel ca probabilitatea de respingere a loturilor de această calitate să fie mică, sau, ceea ce este tot una, probabilitatea de acceptare a lor să fie mare. Vom specifica deci $\alpha=5\%$. De asemenea, nu dorim să acceptăm fire care au rezistența la întindere mai mică de 380 000 psi. Aceasta e calitatea cea mai scăzută pe care sîntem dispuși s-o tolerăm, așa că stabilim un $B=10\%$, asigurîndu-ne că firele avînd în medie această rezistență vor fi acceptate numai în 10% din cazurile cînd sînt prezentate planurile de control prin eşantionare. Ca și la controlul după caracteristici, aceste patru prescripții determină două puncte pe curba OC care conduc la discriminarea cerută între loturile bune și defecte. Această curbă OC, la rîndul său, determină mărimea eşantionului n și media de acceptare a testelor, eşantionului, X_a (asemănătoare lui C din controlul după caracteristici). Dacă presupunem pentru acest caz că devierea standard a acestor teste a fost bine stabilită prin experiența anterioară, ca o constantă la $S=10,000$ psi, valorile corespunzătoare pentru mărimea eşantionului și media de acceptare sînt $n=3$ și $X_a=388\,760$ psi. Bobinele de fire pot fi acceptate sau respinse pe baza testării a 3 eşantioane. Dacă rezultatul eşantioanelor indică o rezistență medie de 388 760 psi sau mai mare, bobina va fi acceptată. Dacă testele indică mai puțin de 388 760, psi, bobina va fi respinsă. Curba OC este prezentată în fig. 20.13.

Adesea se favorizează *nivelul inferior și superior* în legătură cu măsurările dimensiunilor piesei, compoziția chimică, etc. ca parte a prescripțiilor planului de control prin eşantionare după variabile. În aceste cazuri, controlul prin variabile trebuie să asigure o protecție în două direcții, deoarece defectele pot să apară cînd caracteristicile măsurătorii sînt fie prea mici fie prea mari pentru a fi utile. Un plan de eşantionare va specifica deci mărimea eşantionului, o medie de acceptare superioară și o medie de acceptare inferioară.

Criteriile pentru acceptare se pot exprima în procentaj de defecte, ca la controlul prin eşantioane după caracteristici, deși se fac măsurări

efective. Aceasta cere numai o transformare a unităților în cadrul planului. Dubla eșantionare este, de asemenea, aplicabilă și la recepția prin eșantionare după caracteristici.

Evident, costurile de verificare evidență și calcul pe unitate vor fi în mod normal mai mari la planurile de control prin eșantionare după va-

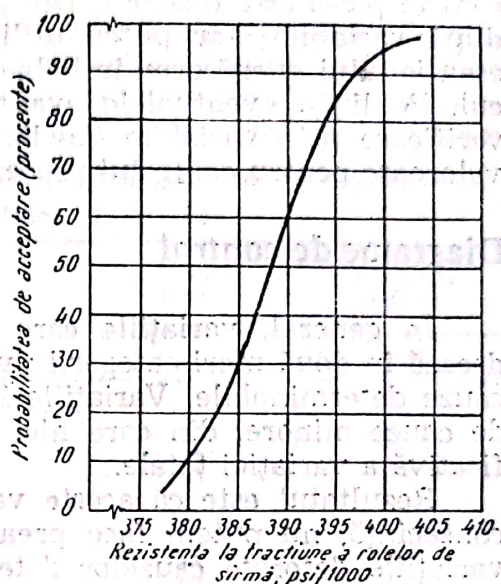


Fig. 20.13. Curbă OC pentru un plan de recepție prin eșantionare după variabilă pentru sîrmă. Mărimea eșantionului este $n=3$; media de recepție a testelor eșantionului este $\bar{X}_a=388,760$ psi.

riabile decât la cele după caracteristici. Atunci de ce să utilizăm planurile după variabile? Cel mai important motiv este că, pentru un nivel de protecție dat, planurile după variabile cer eșantioane mai mici și o verificare totală mai redusă decât planurile după caracteristici. Tabelul 20.1 pre-

Tabelul 20.1. Reducerea în mărimea eșantionului prin planuri de eșantionare după variabile față de planurile caracteristice, pentru nivele de producție comparabile

Mărimea eșantionului — caracteristici —	Mărimea eșantionului — variabile —	Reduceri în mărimea eșantionului	
		nr.	%
1	2	3	4
10	7	3	30
15	10	5	33
20	13	7	35
30	16	14	47
40	20	20	50
55	25	30	55
75	35	40	53
115	50	65	57
150	60	90	60
225	70	155	69
300	85	215	72
450	100	350	78
750	125	625	83
1 500	200	1300	87

(Adaptat cu aprobarea din [1], Tabel 3.I., pg. 33.)

zintă acest aspect. Diferențele sînt mai mici pentru nivele reduse ale mărimii eșantioanelor. Dacă însă planul cere pentru eșantionare după caracteristici, o mărime a eșantionului de 750, se poate obține o protecție comparabilă cu eșantionare după variabile cu eșantion de numai 125. Aceste mărimi ale eșantionului pot fi foarte importante atunci cînd prin control piesa este distrusă. Din punct de vedere economic, deci, verificare după variabile s-ar putea utiliza acolo unde o mărime mai redusă a eșantionului atîrnă greu în balanța costurilor de verificare, evidență și calcul. Pe lîngă eventualele avantaje legate de cost, datele generate prin verificare prin variabile (media și devierea standard) asigură informații valoroase pentru controlul procesului de producție.

Diagrame de control

În general, variațiile care apar într-un proces industrial se încadrează în două mari categorii : variații întîmplătoare și cele datorate unor cauze determinabile. Variațiile întîmplătoare se pot datora unui complex de cauze minore, din care nici una nu poate explica vreo parte semnificativă a variației totale.

Rezultatul este că aceste variații apar într-un mod aleator, și — în consecință, nu putem face prea mult în privința lor. Pe de altă parte, variațiile datorate cauzelor determinabile sînt relativ mari și pot fi depistate. În general, cauzele determinabile sînt :

- 1) Diferențe între muncitori ;
- 2) Diferențe între mașini ;
- 3) Diferențe între materiale ;
- 4) Diferențe datorate interacțiunii între acești factori.

Cînd un proces se află sub control statistic variațiile care apar ca : numărul de defecte, mărimea unei dimensiuni, compoziția chimică, greutatea, etc. se datoresc numai variațiilor întîmplătoare. Cu ajutorul diagramei de control, stabilim standarde ale variației normale probabile datorate cauzelor întîmplătoare. Astfel, atunci cînd variațiile datorate uneia sau mai multor cauze determinabile se suprapun, ele ies imediat în evidență și ne semnalează că s-a schimbat ceva esențial. Toleranța naturală a unui proces se ia în mod obișnuit ca $\bar{x} \pm 3s$.

Diagrame de control după caracteristici

Diagrama — p. Diagramele de control pentru proporția sau partea de defecte care apar (diagrama — p) se bazează pe distribuția binomială. Să ne reamintim

$$p = \frac{x}{n} = \frac{\text{nr. de defecte}}{\text{nr. total de observări}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

unde n este mărimea subeșantionului.

Aplicând aceste noțiuni generale la diagramele de control limitele de control se stabilesc în mod normal la media de defecte a procesului, plus sau minus de 3 ori deviația standard, adică $p \pm 3s_p$.

Tabelul 20.II prezintă un set de date, acoperind 24 de zile consecutive, de producție privind numărul de defecte găsite în eșantioane zilnice de 200. Dorim să determinăm mai întâi dacă datele prezintă control statistic și apoi să stabilim o diagramă de control. Proporția de defecte zilnice se calculează prin împărțirea fiecărei cifre zilnice la mărimea eșantionului $n=200$. În tabelul 20.II se calculează de asemenea, cifre preliminare pentru p , S_p și limitele de control superioare și inferioare

Tabel 20.II. Înregistrarea numărului de defecte și a proporției de defecte calculată în eșantioane zilnice de $n=200$.

Zi producție	Număr defecte	Proporție defecte	Zi producție	Număr defecte	Proporția defecte
1	2	3	4	5	6
1	10	0,05	14	14	0,07
2	5	0,025	15	4	0,02
3	10	0,05	16	10	0,05
4	12	0,06	17	11	0,055
5	11	0,055	18	11	0,055
6	11	0,045	19	24	0,13
7	22	0,11	20	13	0,065
8	4	0,02	21	10	0,05
9	12	0,06	22	9	0,045
10	24	0,12	23	11	0,055
11	21	0,105	24	12	0,06
12	15	0,075			
13	8	0,04			
			Total	294	

UCL și LCL. Aceste cifre preliminare sînt folosite pentru a determina dacă datele se află sub control. Figura 20.14 prezintă defecte în legătură cu limitele de control preliminare. Două puncte sînt în afara limitelor și punctul pentru ziua 7 este aproape în afara limitei superioare. Investigațiile nu arată nimic neobișnuit pentru punctul din ziua 7. Pentru al doilea punct apare ca explicație logică faptul că în acea zi au început să lucreze trei oameni noi. Maistru consideră că defectele din ziua următoare au fost influențate tot de introducerea acestor oameni. Ultimul punct a fost explicat prin faptul că matrița s-a uzat și în cele din urmă s-a rupt în acea zi.

$$p = \frac{294}{24 \times 200} = 0,061$$

$$S_p = \frac{0,061 \times 0,939}{200} = 0,017$$

$$3S_p = 0,051$$

$$UCL = p + 3S_p = 0,061 + 0,051 = 0,112$$

$$LCL = p - 3S_p = 0,061 - 0,051 = 0,010.$$

Pentru a stabili standarde pentru variația normală eliminăm datele pentru zilele în care am stabilit cauze determinabile (zilele 10 și 19) și recalculăm p , UCL și LCL după cum urmează :

$$p = \frac{244}{200 \times 21} = 0,055$$

$$UCL = 0,055 + 3 \frac{0,055 \times 0,945}{200} = 0,103$$

$$LCL = 0,055 - 3 \frac{0,055 \times 0,945}{200} = 0,007.$$

Aceste valori revizuite reflectă variația datorată cauzelor întâmplătoare, pe care le utilizăm apoi ca standarde, după ce judecăm eșantioanele viitoare (proporția de defecte). Dacă vreun eșantion viitor cade în afara acestor limite, reacția noastră imediată este să judecăm ca foarte

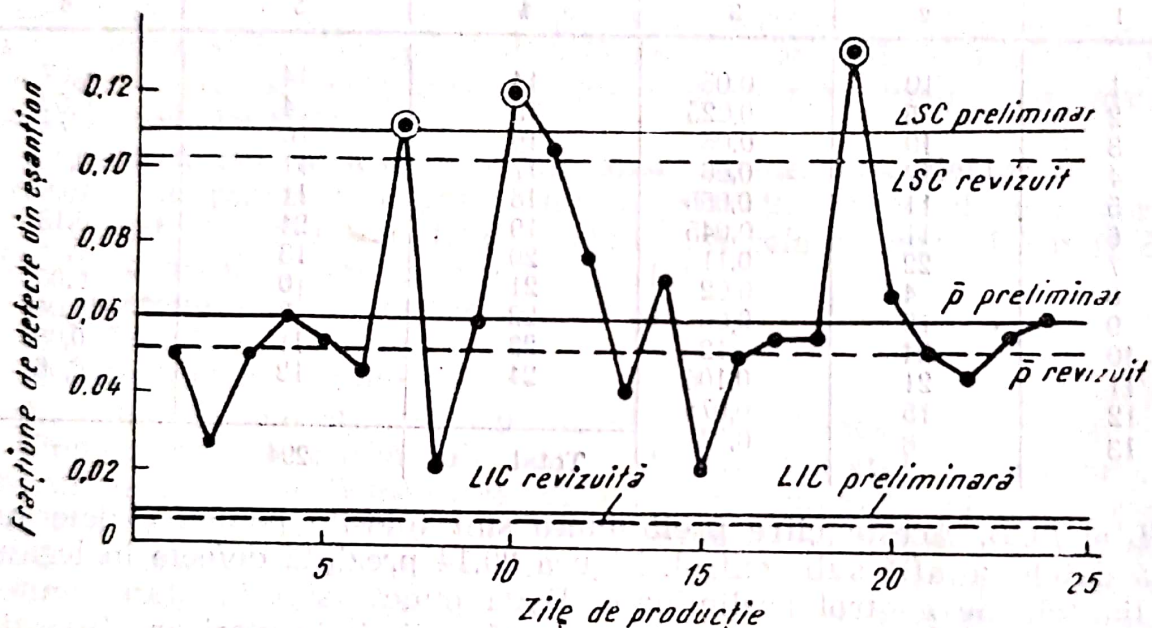


Fig. 20.14. Grafic p pentru examinarea datelor trecute și stabilirea limitelor de control preliminare și revizuite.

probabilă existența unei cauze determinabile pentru valoarea neobișnuită a proporției de defecte. Încercăm atunci să determinăm cauze și s-o corectăm, înainte de a mai fi produse alte rebuturi.

Cînd o diagramă p se bazează pe un eșantion de 100%, ne putem aștepta ca numărul total verificat să varieze de la zi la zi. Ca urmare, fiecare punct succesiv de pe diagrama de control va avea limita de control diferită. Datorită faptului că n variază de la zi la zi, S_p variază, de asemenea, afectînd astfel limitele de control.

O altă diagramă de control pentru caracteristici se bazează pe numărul de defecte pe unitatea de produs. Pe o suprafață vopsită acestea pot fi adîncituri, zgîrieturi etc. O măsură a calității ar putea fi atunci numă-

rul acestor defecte pe unitatea sau pe unitatea de suprafață luată ca eșantion. Diagramele de control construite pe această bază se numesc *diagrame c*.

Diagrama de control după variabile

Se pot construi diagrame de control pentru măsurări individuale. Totuși diagramele de control se construiesc, de obicei, pentru medii de eșantioane, mai curînd decît pentru măsurări individuale. Un motiv important pentru aceasta este că deși o distribuție poate devia radical de la normalitate, distribuția eșantionară a mediilor eșantioanelor aleatorii va fi aproximativ normală dacă eșantionul este suficient de mare. Această proprietate este foarte importantă pentru că ne asigură oarecum că se vor aplica probabilitățile asociate cu limitele de 3 s. Figura 20.15 demonstrează că deviația de la normalitate poate fi destul de mare și totuși distribuția eșantionară a mediilor unor eșantioane cu mărimea de numai 4, urmează destul de apropiat distribuția normală.

Dacă luăm eșantioane de 4 din distribuția măsurărilor individuale cu date despre niște piese din fig. 20.16 și determinăm o medie pentru fiecare eșantion avem o nouă distribuție. Privim fiecare medie de eșantion ca o observație dată, trasăm o distribuție a frecvenței mediilor eșantioanelor, ea va avea o medie și o variantă proprie. Această distribuție este numită o distribuție eșantionară a mediilor lui $n=4$. Pentru a deosebi mărimile statistice de acelea ale unei distribuții de observație individuale, utilizăm notația $\bar{x}$ pentru media totală a distribuției eșantionare și $S_{\bar{x}}$ pentru devierea standard. Ne așteptăm ca $\bar{x}$ și $\bar{\bar{x}}$ să fie aproximativ egale și ca la limită, pe măsură ce crește numărul de subeșantioane, să devină egale. Variația și deviația standard vor fi totuși mult mai mici pentru distribuția eșantionară a mediilor, pentru că variația e redusă de procesul de mediere în cadrul fiecărui eșantion. Relația rezultată între cele două distribuții pentru datele privitoare la o piesă este prezentată în fig. 21.16. De fapt, relația între s și $s_{\bar{x}}$ este dată de

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{s^2/n}$$

unde n este mărimea subeșantionului.

Pentru a construi o diagramă de control pentru medii (diagrama $\bar{x}$) mai întîi trebuie să stabilim pentru $\bar{x}$ și $s_{\bar{x}}$ valori standard care sînt bazate pe condițiile normale a ceea ce dorim să controlăm. Limitele de control superioare și inferioare se stabilesc la $\bar{\bar{x}} \pm 3 s_{\bar{x}}$. Se reprezintă grafic mediile eșantioanelor următoare și o medie de eșantion va cădea în afara limitelor de control. Vor trebui luate măsuri ca în cazul precedent.

Rațiunile pentru care mediile de eșantioane pot cădea în afara limitelor de control sînt, desigur, legate de tehnologia prelucrărilor care sînt controlate. De exemplu, dacă piesele ar fi produse pe un strung, ele ar avea tendința să devină supradimensionate pe măsură ce scula de tăiere se uzează. Schimbările de această natură tind să se reflecte în media distribuției eșantionare. Dacă însă s-au uzat lagărele axului de la strung, situația se va reflecta în creșterea variabilității distribuției de eșanti-

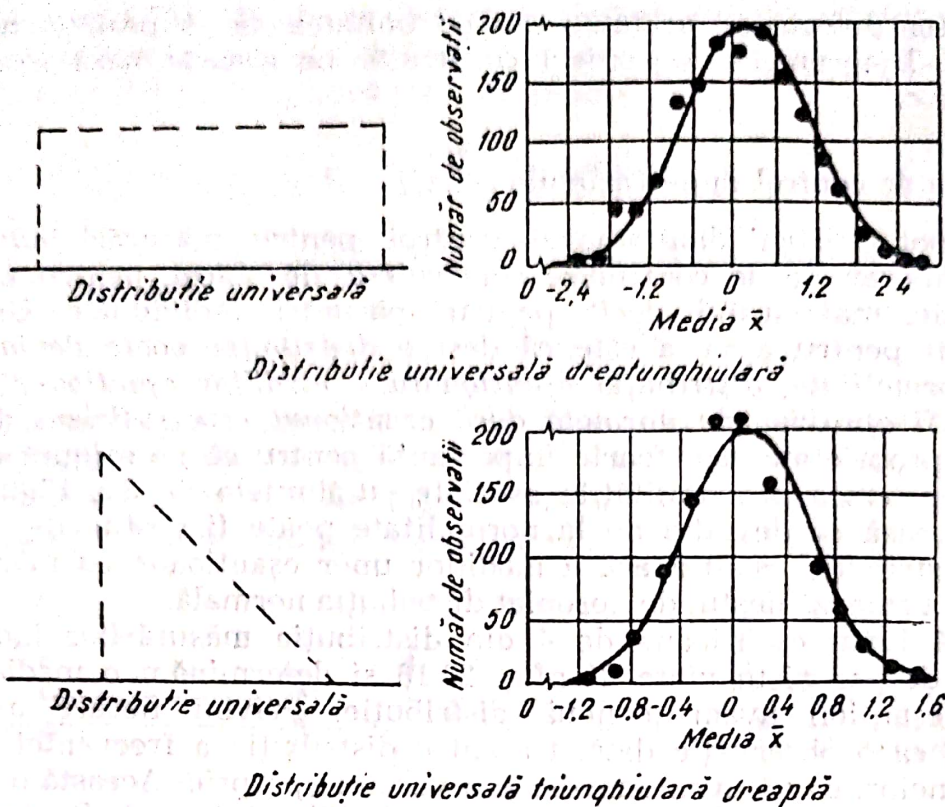


Fig. 20.15. Demonstrarea normalității distribuțiilor eșantionare de medii de 4 extrase din 2 distribuții universale — una dreptunghiulară și alta triunghiulară (după W. A. Shewhart, Economic Control of Quality of Manufactured Product, D. Van Nostrand CO., Princeton, N. J., 1931).

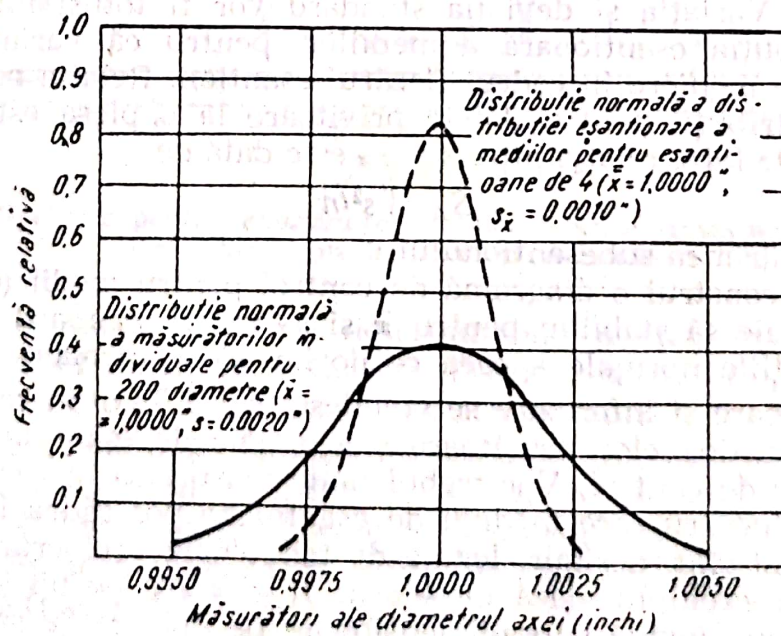


Fig. 20.16. Relația între distribuția observațiilor individuale și distribuția eșantionară de eșantioane de 4 pentru măsurători de diametru ale axelor.

onare și ne vom aștepta ca punctele să iasă în afara ambelor limite de control. Diagrama de control poate indica modificări în media distribuției, efectiv generate, modificări în varianță, deviație standard sau domeniu, precum și combinații de modificări în medie și în varianță. Fig. 20.17 sin-

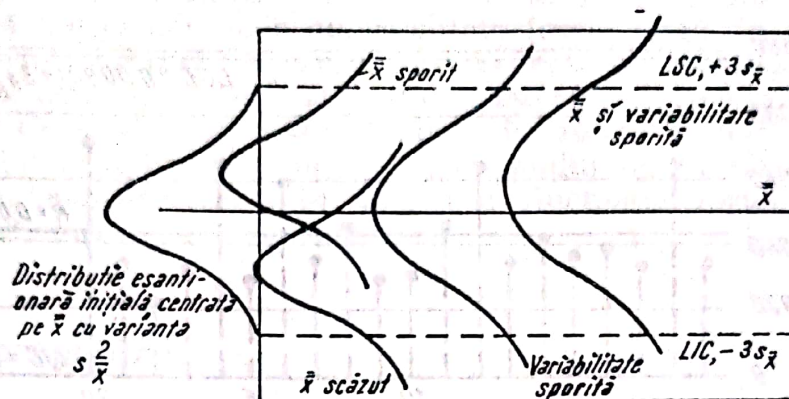


Fig. 20.17. Relația dintre limitele de control și modificările în medie, variabilitate și în ambele.

etizează aceste modificări posibile, acolo unde modificările în variabilitate sînt deosebit de importante, se poate construi o diagramă de control pe baza măsurării variabilității.

Diagrama de control cu măsurarea variabilității

Cînd construim diagrama de control pentru medii, utilizăm distribuțiile eșantionare ale mediilor și calculăm limite de control bazate pe medii ca date statistice de interes principal. Putem lua ca date statistice și o anumită măsură a variabilității de exemplu varianța. Pentru fiecare subeșantion de mărime n , putem calcula o varianță S^2 . Dacă construim o distribuție de frecvență a acestor variante, vom obține o distribuție care aproximează pe cea normală. Această distribuție a variantelor eșantioanelor va avea ea însăși o medie și o deviație standard. Am putea deci utiliza această distribuție a variantelor eșantioanelor pentru stabilirea unei diagrame de control, care ne va spune cînd variabilitatea obiectului controlat este mai mare sau mai mică decît este normal.

În activitatea de control al calității, mărimea statistică aleasă este de obicei domeniul și nu variația, datorită ușurinței cu care poate fi calculat pentru eșantioane succesive. Se prezintă pe o diagramă de control pentru domeniu, pentru fiecare subeșantion diferența între măsura cea mai mare și cea mai mică. Diagrama de control pentru domeniu reprezintă o distribuție a domeniilor pentru eșantioane de mărimea n . Pentru aceasta distribuția are o medie $\bar{R}$ și o deviație standard S_R . Limitele de $3S_R$ au aceeași semnificație ca mai înainte. Probabilitatea ca domeniul unui eșantion să cadă în afara limitelor este de numai 0,27% dacă el pro-

vine din populația originală. Ca urmare, când domeniile eșantioanelor cad în afara limitelor de control, putem presupune că s-a întâmplat un eveniment care a generat o variabilitate mai mare decât cea așteptată.

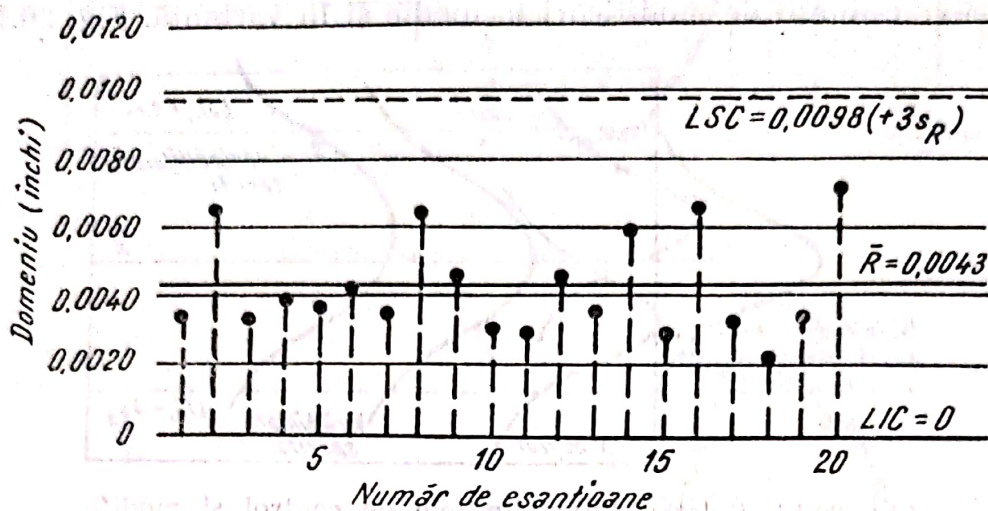


Fig. 20.18. Grafic de control pentru domenii, bazat pe 20 eșantioane cu mărimea 4 fiecare, scoase la întâmplare din distribuția din fig. 20.16.

Fig. 20.18 reprezintă o diagramă de control pentru domenii, bazată pe exemplul din fig. 20.16. Există tabele și diagrame adecvate care fac foarte ușoară stabilirea limitelor de control de $3s_R$.

Rezumat

Controlul calității într-o întreprindere cere o largă privire de ansamblu asupra răspunderilor pentru calitate și nu numai concentrarea atenției asupra controlului calității, asupra materiilor prime primite și prelucrărilor în fabricație. Lanțul format din politicile întreprinderii, deciziile de proiectare tehnică, proiectarea sistemului de producție și controlul asupra diverselor operații, incluzînd desfacerea și utilizarea, trebuie urmărit și coordonat, dacă vrem ca obiectivele întreprinderii privitoare la calitate să fie atinse.

Dezvoltarea folosirii controalelor probabilistice în industrie a atins nivelul cel mai înalt în domeniul controlului calității. Recepția prin eșantion ajustează volumul verificării la nivelele probabile ale calității intrate și cere o verificare de 100%, atunci cînd există o probabilitate mare ca nivelul calității intrate să fie slab. Pe de altă parte, cînd eșantioanele arată că e probabilă o calitate intrată destul de bună, se acceptă întregul lot fără o verificare suplimentară.

Diagramele de control încearcă să prevină producția de calitate slabă, în primul rînd prin sesizarea cazurilor cînd există o probabilitate mare că piesele defecte produse sînt datorate unei cauze determinabile.

Prin tragerea unui semnal de alarmă la primul semn de neregulă, prevenim producerea în continuare de rebuturi și economisim costul verificării ulterioare care ar evidenția piesele defecte mai târziu.

Deși conceptele de recepție prin eșantionare și control statistic au fost prezentate în contextul controlului de calitate în industrie, trebuie să arătăm că aceste idei au o aplicabilitate foarte largă. În toate domeniile funcționale deciziile se bazează în general pe eșantioane de date. De ce nu s-ar determina riscurile implicate așa cum se face la recepții prin eșantioane? Conceptele de control statistic își găsesc în ziua de astăzi un larg domeniu de aplicare și în afara procesului de fabricație. Au fost utilizate diagrame de control în domeniul fluctuației forței de muncă, costurilor, procentelor de accidente etc.

Întrebări recapitulative

- 1) Care este înțelesul termenului de „calitate” în domeniul fabricației?
- 2) Faceți deosebirea între verificare și controlul calității.
- 3) Discutați rolul judecății în utilizarea dispozitivelor de măsurare de precizie și în operațiunea de verificare.
- 4) Ce fel de control se poate exercita pentru menținerea normelor de calitate?
- 5) Ce condiții fac indicată recepția prin eșantionare?
- 6) Ce este o curbă OC și ce informații cuprinde?
- 7) Care este efectul creșterii mărimii eșantionului asupra curbei OC? Ce rezultat practic aduce aceasta privind puterea de discriminare a planului de control prin eșantion?
- 8) Care este efectul micșorării mărimii eșantionului asupra curbei OC? Ce rezultat practic se obține prin aceasta în ce privește nivelele calității ieșite?
- 9) Definiți AQL, LTPD și β . Legați aceste definiții de o curbă OC tipică.
- 10) Discutați semnificația formei curbei calității medii ieșite (AOQ). Legați aceasta de volumul verificării cerute pentru diverse nivele ale calității intrate.
- 11) Care este structura generală a dublei eșantionări? Care sînt avantajele și dezavantajele ei?
- 12) Care este structura generală a eșantionării secvențial? Care sînt avantajele și dezavantajele sale?
- 13) Analizați diferențele de concepție și tehnică statistică dintre recepția prin eșantionare după caracteristici și după variabile.
- 14) Ce condiții favorizează utilizarea recepției prin eșantionare prin variabile?
- 15) Care sînt sursele cauzelor determinabile ale variațiilor în controlul calității?
- 16) Discutați procedura de întocmire a unei diagrame p.

17) Care este semnificația faptului că distribuția eșantionară a mediilor poate fi normală, chiar dacă distribuția măsurătorilor individuale deviază în mod radical de la normalitate ?

18) Care este legătura între s și s_x ?

19) De ce domeniul este așa des utilizat ca măsură a variabilității în controlul calității ?

PROBLEME

1) Întreprinderea StaMPCo fabrică fulia cu curea în V prezentată în fig. 11.24. Ea a decis să introducă anumite tehnici de control statistic pentru a îmbunătăți controlul calității și a reduce costul său. Întreprinderea cumpără bare cu diametrul de 0,875 inch. pe bază de cerere. Acestea se livrează în loturi de 400 la cerere. La nivelul actual al producției de fulii cu axe cu diametrul de 0,875 inch., 400 de bare reprezintă în mare consumul pentru 6—7 zile.

Pentru ca fuliile să corespundă exact cu flanșele produse la mașina de ștanțat, barele nu trebuie să varieze cu mai mult de 0,002 inch. de la diametrul nominal. Ca urmare, specificația pentru diametrul barei este de $0,875 \pm 0,002$ inch.

Dacă diametrul barei depășește limita superioară a specificației, flanșele se vor rupe când vor fi forțate pe ax. Dacă diametrul este mai mic decât cel specificat, flanșa joacă pe ax și la operația de sudură acestea vor fi fixate excentric pe axa de rotație. Ca urmare, un mare număr de fulii trebuie respinse datorită faptului că fulează prea tare.

(a) Contractul întreprinderii cu furnizorul de oțel specifică că 95% din bare trebuie să îndeplinească specificația de $0,875 \pm 0,002$ inch.

(b) Directorul de producție și achizitorul au decis ca întreprinderea să nu accepte un transport în care mai mult de 17,5% din bare sînt supra sau subdimensionate. Care sînt valorile parametrilor care ar defini un plan de control prin eșantionare ?

2) După cîteva luni, directorul de producție are impresia că serviciul de recepție a acceptat prea multe loturi în care numărul efectiv de bare defecte depășea 17,5%. Ca urmare, recomandă reducerea probabilității de acceptare a loturilor cu mai mult de 17,5% defecte la jumătate. Cum trebuie modificat planul din problema 1 pentru a îndeplini această recomandare ?

3) Întreprinderea StaMPCo a înregistrat un număr mare de respingeri a fuliilor mici datorită defectelor la ax. Deoarece axul fuliei este în mare parte fabricat pe strunguri revolver, directorul de producție a solicitat un studiu complet al operațiilor la ax, executate pe acest utilaj.

Pentru a testa calitatea lucrărilor pe această mașină, s-au luat 10 eșantioane a 4 axe fiecare, atunci cînd strungurile lucrau într-un mod „tipic”. Rezultatele pentru lungimile axului se prezintă mai jos ; $n=4$.

Nr. eșantion	Media eșantionului $\bar{x}$	Domeniul eșant. R
1	1,007 inch	0,013 inch
2	1,008	0,022
3	0,991	0,018
4	0,993	0,014
5	0,998	0,019
6	1,008	0,026
7	0,996	0,024
8	0,995	0,011
9	0,999	0,021
10	0,995	0,025
Totaluri	9,990 inch	0,192 inch

Determinați toleranța naturală a strungurilor pentru operațiile de tăiere.

4) Dacă specificația de proiectare pentru lungimea axului fuliilor mici este de $1,000 \pm 0,040$ inch, sînt strungurile revolver capabile să respecte aceste specificații? De ce?

5) Pe baza specificațiilor de proiectare pentru lungimea axului fuliilor mici de $1,000 \pm 0,040$ inch și pe intervalul de toleranță naturală, la ce dimensiune de bază (lungime medie a axului) trebuie reglate strungurile revolver cînd se schimbă o sculă sau se face o reglare? (Presupunem că uzura sculelor este singura variabilă previzibilă în schimbările prelucrării). Expuneți această situație și explicați-o!

6) Cu informațiile despre calitate pe care le-ați prevăzut în sistem, determinați limitele de control și întocmiți diagrame de control pentru operația de tăiere pe strungul revolver. Se va lua cîte un eșantion de 4 fulii la fiecare jumătate de oră.

(a) Diagrama de control pentru mediile eșantionului $\bar{X}$. În condiții normale, lățimea sculei de tăiere se consumă într-un ritm de 0,001 inch pe oră de folosire. Atelierul lucrează de la ora 8 la 12 și de la 12,30 la 16,30. (pauză 12,00—12,30).

Se obișnuiește să se schimbe scula de tăiere la începutul zilei de muncă în concordanță cu procedura pe care ați stabilit-o în problema 3.

(1) Determinați limitele de control corespunzătoare pentru media eșantionului astfel încît să reflecte ritmul cunoscut de uzură a sculei de tăiere.

(2) Reprezentați pe diagrama de control limitele de control $\bar{x}$ și tendința probabilă a evoluției lungimii medii a axului.

(b) Diagrama de control pentru domeniile eșantionului R .

(1) Determinați limitele de control corespunzătoare pentru domeniul eșantionului (Prezentați toate calculele).

(2) Reprezentați limitele de control R și domeniul mediu $\bar{R}$ (Pe diagrama de control).

Bibliografie

- [1] Bowker, A. H., H. P. Goode. *Sampling Inspection by Variables*. McGraw-Hill, New York, 1952.
- [2] Dodge, H. F., H. G. Romig. *Sampling Inspection Tables* (2nd. ed.). John Wiley, New York, 1959.
- [3] Duncan, A. J. *Quality Control and Industrial Statistics* (III ed.). Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1965.
- [4] Feigenbaum, A. V. *Total Quality Control* McGraw-Hill, New York, 1961.
- [5] Grant, E. L. *Statistical Quality Control* (III ed.). McGraw-Hill, New York, 1964.
- [6] Hansen, B. L. *Quality Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
- [7] MIL-STD-105C. *Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes*, July 18, 1961.
- [8] MIL-STD-414. *Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Per cent Defective*, June 11, 1957.
- [9] Vance, L. L. and J. Neter. *Statistical Sampling for Auditors and Accountants*. John Wiley, New York, 1956.

Așa cum am văzut, nu o dată în capitolele precedente luarea deciziilor în domeniul producției cere în mod necesar date asupra costului muncii. Pentru a conduce și controla un sistem de producție existent, controlul costului muncii este important în aproape toate întreprinderile și este capital pentru cele în care costurile muncii dețin o parte însemnată din costul total al produsului sau serviciilor executate. Ca să ne referim la conținutul de muncă dintr-o piesă, produs sau serviciu, ne putem folosi de principiile de măsurare a muncii pe care le-am discutat în cap. 14 și la proiectarea activităților și a metodelor de lucru discutate în cap. 12 și 13. Aceste măsuri asigură mijloace prin care putem controla *cantitatea* de muncă din produs sau serviciu, criteriul lor principal fiind timpul. Dar deciziile de fabricare-cumpărare, grad de mecanizare, planurile de baze pentru fabricație etc. nu se pot baza pe simpla cunoaștere a necesităților de timp. Aceste tipuri de decizie depind de echilibrul de valori economice dintre muncă, materiale și mașini. Factorul care lipsește este, evident, valoarea muncii și salariile. Interesul pe care îl acordăm salariilor este legat de aceste obiective de luare a deciziilor în producție și de controlul costurilor de muncă în general.

Există un număr de alte puncte de vedere interesante și anume de luat în considerare privitoare la salarii. De exemplu, acestea pot fi privite într-un context social larg, sau din punctul de vedere al economiei teoretice în care se examinează teorii ale salariilor. În contextul acordului colectiv, salariile pot fi examinate ca o problemă de relații industriale care depind de acordurile sindicale, de contractele de muncă, de legislația muncii etc. Salariile pot fi privite ca o problemă de personal în ce privește oferta și cererea de muncă, stabilirea ritmurilor competitive și sistemele de popularizare și recompensare a activității deosebit de valoroase.

Fără îndoială că fiecare din aceste puncte de vedere diferite asupra problemei salariilor au un efect asupra desfășurării procesului de producție. Noi însă le considerăm în mod necesar ca ieșind în afara domeniului și obiectivelor urmărite de acest volum. Prin examinarea structurii salariilor sperăm să se observe legătura dintre proiectarea activităților, măsurarea muncii, nivelele de salarizare și metodele de plată a salariilor în controlul costurilor muncii.

Aprecierea unei activități ca măsură a dificultății

Evaluări nesistematice ale valorii relative a activităților au existat de când există organizații economice.

Evaluarea oficială a activității este însă destul de recentă, devenind răspândită în timpul și după al doilea război mondial. Evaluările exacte ale activității încearcă să sistematizeze opiniile despre valoarea relativă a activităților pentru a face posibilă o apreciere valorică mai consecventă. Metodele de realizare a acestor diferențieri a valorii relative a funcției se clasifică de obicei în necantitative (metode de împărțire în categorii și sisteme de clasificare) și cantitative (sisteme de punctaj și sisteme de factori de comparație).

Diferența principală între sistemele necantitative și cele cantitative este următoarea: Primul clasifică activitatea luată ca un întreg și au drept rezultat simple valori relative (de exemplu, activitatea *A* este de mai mare valoare pentru întreprindere decât activitatea *B* și *B* este mai mare decât *C*), dar nu conțin nici o indicație privind aspectul cu cât valorează mai mult *A* decât *B* sau *B* decât *C*. Spre deosebire de acestea, sistemele cantitative consideră valoarea activității compusă dintr-o serie de factori cum ar fi calificarea, gradul de răspundere, efortul fizic și mental cerut, condiții de lucru etc. Ele stabilesc pentru fiecare din acești factori scări cu echivalențe numerice pentru diferite nivele ale fiecărui factor. Valoarea relativă a unei activități se indică apoi prin totalul rezultatelor numerice pentru factorii considerați. Astfel, totalul de puncte nu numai că arată că activitatea *A* are o valoare mai mare decât activitatea *B*, și *B* decât *C*, dar prin diferența între punctaje, se dau unele indicații asupra diferențelor de valoare.

Există dezacorduri privind utilizarea uneia sau alteia dintre aceste metode, datorită impresiei unor psihologi că se pierde ceva când încercăm să reprezentăm valoarea totală a activității prin simpla însumare a nivelelor unor factori. Ei susțin că întregul nu este simpla sumă a părților sale, ci poate fi ceva mai mare sau mai mic pentru că factorii tind să interacționeze și pentru că definirea unui factor poate scăpa ceva care este important pentru anumite activități. Cu toate acestea, planurile cantitative se utilizează în mai mare măsură decât cele necantitative. Se pare că deși în clasificarea cantitativă există unele erori, ele sînt ceva mai mici decât eroarea globală de clasificare datorată aprecierii prin raționamente umane și pot fi neglijate.

Împărțirea în categorii și clasificarea

Metoda împărțirii în categorii implică simpla adunare a atribuțiilor în ordinea importanței lor pentru organizație, pe baza cunoașterii de către comitetul însărcinat cu aceasta a activităților și a unor descrieri sumare ale acestora. Metoda împărțirii în categorii nu este utilizată într-o prea mare măsură.

Clasificarea este folosită curent de agențiile administrative federale și ale statelor și de unele grupuri de afaceri; ea implică definirea unor clase de activități (funcții) de diferite nivele de dificultate globală, deseori legate de nivelele organizației. De exemplu, *Actul Clasificării din 1949* (S.U.A.) asigură nomenclatoare pentru administrația federală pentru două clasificări de bază :

1. Un nomenclator general (GS) care acoperă serviciile profesionale și științifice, activități funcționărești și administrative.

2. Un nomenclator pentru meșteșuguri, activități de ocrotire și pază (CPC).

Nomenclatorul general definește 18, iar CPC 10 clase diferite. Aceste clase sînt definite cu atenție pentru a acoperi clasificările lucrărilor apreciate de a fi de model similar. Sarcina aprecierii este apoi o problemă de sortare a activităților în gradații predeterminate, pe baza descrierilor activităților și claselor. Listele de activități introduse în clasificare care rezultă, reprezintă împărțirea în categorii, cît și în clasificare, aprecierea valorică a unei activități se realizează printr-un studiu privind salariile plătite pentru activități comparabile și prin luarea în considerare a politicii organizației în domeniul nivelului salariului și a acordurilor colective negociate. În mai multe lucrări indicate în bibliografie [1], [2], [8], [12], [13], se găsesc descrieri detaliate ale celor două tipuri de planuri, cu instrucțiuni pentru prelucrarea și adaptarea lor la necesitățile specifice ale unei întreprinderi.

Sisteme de punctaj și cu factori de comparație

În aceste două sisteme pentru determinarea dificultății activităților se determină factorii de comparație și se stabilesc fie punctaje, fie scări monetare care exprimă domeniul probabil al factorului și o pondere a importanței sale relative. De exemplu, factorii de aptitudini primesc în general o pondere mare în comparație cu condițiile de lucru. Din considerente practice, putem considera toate aceste scări ca fiind de punctaj (scările monetare sînt scări de punctaj cu un raport de transformare de 1:1 a punctelor în valori monetare). Diferențele principale între sistemele de punctaj și cel al factorilor de comparație constau în mijloacele prin care sînt construite scările.

Factorul de comparație are asociate o scară obținută printr-o procedură relativ complicată de comparare încrucișată prin intermediul factorilor unui număr de activități cheie. Ca rezultat apar scări pentru fiecare factor, care reflectă ponderările și valorile activităților efective considerate cheie după aprecierile unor persoane cu experiență. Descrieri ale acestei proceduri se pot găsi în bibliografie [1], [2], [8], [10], [12], [13]. Odată ce scara este stabilită, se realizează evaluările reale ale activităților pe baza fiecărui factor, prin compararea activității ce trebuie evaluată cu activitățile cheie care își au deja locul în scară.

Sistemele de punctaj sînt pe departe cele mai mult folosite: ceea ce explică ponderea ce li se va acorda în acest capitol. Scările sînt obți-

nute direct din aprecierea persoanelor experimentate și se referă la ponderea pe care trebuie s-o primească fiecare factor, domeniul și valorile punctajului repartizat fiecăruia. În cele ce urmează se prezintă scările pentru setul de factori utilizați de către Asociația Națională a Comerțului cu metal și de Asociația Națională a Producătorilor de articole electrice. Factorii se încadrează în patru capitole principale, și anume aptitudini, efort, răspundere și condiții de lucru. Fiecare factor este definit cu atenție pentru a se minimiza suprapunerea lor din punct de vedere al semnificației. De asemenea, este definită fiecare gradație a fiecărui factor pentru a acoperi domeniul de activități care pot fi evaluate. În continuare se prezintă un model de definire a factorilor și a gradațiilor pentru patru factori. Evaluarea propriu-zisă a activităților depinde apoi de compararea caracteristicilor activității cu definițiile gradațiilor pentru fiecare factor. De obicei, datele despre caracteristicile activității sînt rezumate sub forma unei descrieri și specificații a funcției, care indică sarcinile și cerințele minime pe care activitatea le solicită cuiva care urmează s-o îndeplinească.

Clasa GS-1 include toate categoriile de funcții ale căror atribuții constau în a executa, sub supraveghere directă, cu posibilitate mică sau fără posibilitatea de inițiativă: (1) cele mai simple munci de rutină în birouri, operații comerciale sau fiscale, sau (2) muncă elementară cu caracter tehnic, în subordine, în domeniul științific sau tehnic.

Clasa GS-7 include toate categoriile de funcții ale căror atribuții sînt: (1) executarea sub supraveghere generală a unei munci de o dificultate considerabilă, cu răspundere pe linie tehnică sau de control, în economie sau administrație fiscală, sau a unei munci tehnice comparabile într-un domeniu tehnic sau științific, cerînd în ambele cazuri (A) instruire și experiență considerabilă de specialitate sau control, (B) cunoștințe vaste și amănunțite asupra unei probleme complexe și de specialitate sau asupra principiilor profesiei, artei sau științei respective și (C) exercitarea într-o măsură considerabilă a unei gândiri independente; sau (2) executarea altei munci de importanță, dificultate și răspundere egale și cerînd calificări comparabile.

Clasa GS-10 include toate categoriile de funcții ale căror atribuții sînt: (1) executarea, sub supraveghere generală, a unei munci de înaltă dificultate și răspundere, în domenii speciale tehnice, de control sau administrative, în birouri, organizații economice sau administrație fiscală, cerînd (A) cunoștințe și experiență relativ extinse de specialitate, control sau muncă administrativă, care a demonstrat capacitatea pentru o bună activitate independentă, (B) cunoaștere amănunțită și fundamentală a unei probleme complexe de specialitate, sau a profesiei, artei sau științei respective și (C) o capacitate considerabilă de gândire independentă; sau (2) executarea altei munci de importanță, dificultate și răspundere egale și cerînd calificări comparabile.

Clasa GS-15 include toate categoriile de funcții ale căror atribuții sînt: (1) exercitarea, sub direcție administrativă generală, cu posibilitate foarte largă de exercitare a unei gândiri independente, a unei munci de o deosebită dificultate și răspundere în domenii speciale tehnice, de control sau administrative, dovedind capacități de conducere și realizări excepționale; (2) de a servi ca șef al unei organizații importante din cadrul unui Birou implicînd o muncă de un nivel comparabil; (3) de a planifica și conduce sau a planifica și executa programe specializate de vîdită dificultate, răspundere și importanță națională pe linie profesională, științifică, tehnică, administrativă, fiscală sau altele, ceea ce implică o instruire și experiență cuprinzătoare, care a demonstrat aptitudini de conducere și realizări neobișnuite în cercetarea profesională, tehnică sau științifică, în activitatea practică sau administrație sau alte activități specializate; sau (4) să execute muncă de consultanță sau altă muncă specializată profesională, științifică, tehnică, admi-

nistrativă, fiscală sau altele, de importanță, dificultate și răspundere egale și cerînd calificări comparabile.

Clasa GS-18 include toate categoriile de funcții ale căror atribuții sînt: (1) a servi ca șef al unui birou, în care poziția, luînd în considerare felul și extinderea autorității și răspunderii implicate, domeniul, complexitatea și gradul de dificultate al activității depuse, este excepțională și este deosebită față de întregul grup de poziții de șefi de birouri; (2) a planifica și conduce sau a planifica și executa programe specializate fără precedent în domeniul profesional, științific, tehnic, administrativ, fiscal sau altele, de dificultate, răspundere și importanță națională deosebite, cerînd o instruire și experiență cuprinzătoare, care a demonstrat calități de conducere deosebite și realizări remarcabile în cercetarea profesională, tehnică sau științifică în activitatea practică sau administrativă, sau în activități specializate de orice altă natură, sau (3) să execute consultanță sau muncă specializată profesională, științifică, tehnică, administrativă, fiscală sau altele de importanță, dificultate și răspundere egale și cerînd calificări comparabile.

Cinci din cele 18 descrieri de clase pentru nomenclatorul general de servicii (GS). (Actul clasificării din 1949)

F a c t o r i	Gradația 1	Gradația 2	Gradația 3	Gradația 4	Gradația 5
1	2	3	4	5	6
<i>Aptitudini</i>					
1. Studii (14%)	14	28	42	56	70
2. Experiență (22%)	22	44	66	88	110
3. Inițiativă-ingeniozitate (14%)	14	28	42	56	70
<i>Efort</i>					
4. Cerințe fizice (10%)	10	20	30	40	50
5. Cerințe mental-vizuale (5%)	5	10	15	20	25
<i>Răspundere</i>					
6. Echipament sau prelucrare (5%)	5	10	15	20	25
7. Material sau produs (5%)	5	10	15	20	25
8. Siguranța altora (5%)	5	10	15	20	25
9. Munca altora (5%)	5	10	15	20	25
<i>Condițiile activității</i>					
10. Condiții de lucru (10%)	10	20	30	40	50
11. Riscuri inerente (5%)	5	10	15	20	25

Factorul 3. Inițiativă și ingeniozitate

Inițiativa și ingeniozitatea se referă la acțiunea independentă, exercitarea judecății, luarea de decizii sau volumul de planificare cerute de funcție. Acest factor evaluează de asemenea gradul de complexitate al muncii.

Treapta 1-a

Cere aptitudinea de a înțelege și urma instrucțiuni simple și a utiliza un echipament simplu, implicînd decizii puține, deoarece angajatului i se spune exact ce să facă.

Treapta 2-a

Cere aptitudinea de a lucra după instrucțiuni detaliate și a lua decizii minore cerînd folosirea unor raționamente.

Fig. 21.4.

Treapta 3-a

Cere aptitudinea de a planifica și executa o succesiune de operații, pentru care sînt disponibile metode de operare standard sau recunoscute și a lua decizii generale privind calitatea, toleranțele, modul de lucru și secvența de operare.

Treapta 4-a

Cere aptitudinea de a planifica și executa o muncă neobișnuită și dificilă, pentru care sînt disponibile numai metode generale de operare și a lua decizii, implicînd folosirea unei ingeniozități, inițiative și judecăți considerabile.

Treapta 5-a

Cere o aptitudine ieșită din comun de a lucra independent pentru obținerea unui rezultat general de a dezvolta noi metode, de a răspunde noilor condiții, necesitînd un înalt grad de ingeniozitate, inițiativă și judecată, în funcții foarte complexe.

Factorul 4. Cerințe fizice

Acest factor evaluează mărimea și continuitatea efortului fizic cerut. Se consideră efortul cheltuit pentru manipularea materialelor (greutatea și frecvența manipulărilor) lucrul la o mașină sau mînuirea sculelor și perioadele de timp neocupat.

Treapta 1-a

Muncă ușoară, cerînd un efort fizic scăzut.

Treapta 2-a

Efort fizic scăzut, lucrînd în mod regulat cu materiale cu greutate mică sau ocazional cu materiale de greutate mijlocie. Lucrul la mașini-unelte la care timpul mașină este mai mare decît timpul de mînuire.

Treapta 3-a

Efort fizic susținut, cerînd o continuitate a efortului la lucrul cu materiale de greutate scăzută sau mijlocie. De obicei, un ciclu de lucru scurt cerînd activitate continuă sau lucrul la mai multe mașini, în care timpul de mînuire este echivalent cu timpul mașină total.

Treapta 4-a

Efort fizic considerabil, în lucrul cu materiale de greutate mijlocie sau mare. Sau o solicitare continuă într-o poziție de lucru dificilă.

Treapta 5-a

Efort fizic continuu, lucrînd cu materiale cu greutate mare. Muncă dură cu solicitare fizică continuă sau solicitare intermitentă foarte intensă.

Factorul 8. Răspunderea pentru siguranța altora

Acest factor evaluează grija care trebuie avută pentru a preveni accidentarea altor persoane și mărimea posibilă a acestor accidente. Rănirea angajatului în timpul exercitării funcției trebuie considerată la Pericole Inevitabile. Se consideră accidentarea posibilă a altor persoane, ca rezultat al operării neglijente a unei mașini sau a mînuirii neglijente de materiale sau scule. Pot fi accidentați alți salariați datorită neglijenței în serviciu? Dacă da, cum?

Treapta 1-a

Răspundere mică privind siguranța altor persoane. Lucrul se execută într-un loc izolat sau nu intervin mașini, iar materialul este foarte ușor.

Treapta 2-a

Pentru a preveni rănirea altora este necesară numai o atenție rezonabilă în executarea muncii proprii. Dacă ar apărea accidente, ele ar fi minore.

Treapta 3-a

Este necesară conformarea cu normele de protecție pentru a preveni accidentarea altora cu pierdere de timp de lucru.

Treapta 4-a

Este necesară o atenție continuă pentru a preveni rănirea serioasă a altor persoane, datorită pericolelor inerente muncii respective, dar în condițiile în care aceste persoane pot acționa pentru a preveni accidentarea lor.

Treapta 5-a

Protecția altora depinde în întregime de acțiunea corectă a angajatului în funcția apreciată și neglijența poate duce la accidente fatale pentru alți angajați.

Factorul 10. Condiții de lucru

Acest factor evaluează condițiile fizice sau de ambianță în care trebuie exercitată activitatea și măsura în care aceste condiții fac munca dezagreabilă. Se consideră existentă, mărimea relativă și continuitatea expunerii la praf, murdărie, căldură, aburi, frig, zgomot, vibrații, umezeală etc.

Treapta 1-a

Condiții de lucru ideale. Absența completă a oricărui element dezagreabil.

Treapta 2-a

Condiții de lucru bune. Poate exista puțină murdărie sau o expunere ocazională la unele din elementele de mai sus. Condițiile de lucru dintr-un atelier mecanic obișnuit.

Treapta 3-a

Condiții de lucru oarecum dezagreabile, datorită expunerii la unul sau mai multe din elementele de mai sus, dar dacă sînt prezente mai multe, aceste elemente nu există în mod continuu.

Treapta 4-a

Expunerea continuă la mai multe elemente dezagreabile sau la un element care este deosebit de dezagreabil.

Treapta 5-a

Expunere continuă și intensivă la mai multe elemente deosebit de dezagreabile.

Analiza unei activități (funcții)

În continuare este dat un exemplu tipic de descriere și specificare a unei funcții, utilizată în scopul evaluării acesteia. Această fază a analizei funcției (care are ca rezultat descrieri și specificații ale funcției) cere un timp și un efort considerabil și trebuie executată cu grijă, pentru că datele rezultate reprezintă baza sistemului de evaluare. Experții sînt de acord că datele analizei funcției în vederea evaluării acesteia trebuie să fie colectate prin interviuri cu cei care ocupă funcția respectivă și consultări cu superiorii sau alte persoane care pot aduce lămuriri asupra naturii funcției și a cerințelor minime impuse de funcția celui care ar urma s-o îndeplinească.

Descrierile funcției sînt scrise de obicei într-un stil aparte, în care fiecare propoziție este începută cu un verb funcțional, așa cum apare în fig. 21.5 (de exemplu „face came” sau „pregătește mașina”). Observați că se încearcă să se concentreze atenția asupra aspectelor importante ale evaluării funcției și nu asupra detaliilor care spun cum se execută lucrarea. Astfel, descrierea prezintă felul sarcinilor implicate, felul deciziilor ce trebuie luate etc.; descrierea modului de realizare are ca obiectiv fundamental să cuprindă ceva din nivelele de calificare ale activităților. Astfel, două funcții diferite pot cere să se execute măsurări, dar una realizează aceasta cu o riglă, iar cealaltă cere utilizarea unor instrumente de precizie. O funcție poate cere citirea unei documentații complexe pentru determinarea în detaliu a operațiilor ce trebuie executate; într-o altă funcție, se primesc instrucțiuni detaliate de la un supraveghetor. Prima funcție cere mai multă experiență, cunoștințe practice și inițiativă decît a doua. Rezultatul este că deși la prima vedere descrierile pot părea schematice, cînd sînt scrise așa cum trebuie, pot îngloba o mare cantitate de informații caracteristice.

FIȘA DE ANALIZĂ A FUNCȚIEI**Întreprinderea mecanică X**

Titlul funcției : *operator la mașina Brown and Sharpe*. Cod 12:104 trasare și tăiere
camă

Alte titluri

Titlul sugerat

Serviciul mecanic. Nr. serviciu 12. Șef serviciu P. Wurtz

Nr. în funcție Superior direct

Persoane intervievate JOE HALL

Analist E.B.S.

Data : 24 iunie 1955

Sumarul funcției (fraze cheie care descriu funcția)

Execută came pentru mașină, pregătește și minuieste mașina Brown and Sharpe. Asigură materialele, îngrijește mașina, ascute sculele.

Munca executată : Ce — Cum — De ce (Dacă este nevoie folosiți fișe suplimentare)

1. Execută came pentru pregătirea mașinii Brown and Sharpe. Lucrează după schițe și desene tehnice pentru a calcula distanțele de acționare pe came, stabilește adâncimea tăieturilor și schimbarea sculelor. Trasează modelul pe came și le debitează pe freza universală, finisind manual. Desemnează sculele pentru mașină.

2. Pregătește mașina. Lucrează după schițe și desene tehnice pentru a pregăti camele și uneltele pentru secvența de operații cerute. Pune la punct mașina; verifică piesele pentru a fi sigur că montajul este corect.

3. Lucrează la mașină. Verifică periodic piesele, pe măsură ce mașina le produce automat. Ascute și înlocuiește sculele când se uzează. Unge periodic mașina (de trei ori pe zi). Aproximionează cu material și pregătește camele pentru prelucrarea următoare.

Echipament mașini folosite

Brown and Sharpe 2

Scule de precizie pentru control

Freză universală

Scule manuale

Cerințe ale funcției (minimum)

(Gîndește la funcție — nu la persoană)

Calificare

1. Cerințe de studii — Trebuie să fie capabil să citească desene tehnice, să utilizeze instrumente de precizie și să știe cum să ascute sculele la unghiurile potrivite cu materialele utilizate. Se utilizează matematica aplicată pentru calcularea distanțelor de acționare pe came.

2. Cerințe de stagiu.

Cinci ani plus un an în fabricarea camelor.

3. Inițiativă — ingeniozitate — Pregătirea mașinii, fabricarea camelor. Receptor de idei și tehnici noi.

Efort

4. Cerințe fizice — Ciclurile durează 1—3 zile. Ridicarea a maximum 17 kg, numai periodic, pentru a împropăta stocul la mașină (2—3 ori pe zi).

5. Cerințe intelectual-vizuale — Calcule și trasări de came. Citirea instrumentelor de precizie, sculelor de ascuțit.

Răspundere

6. Echipament sau Prelucrare — Lucrul defectuos poate duce la uzură excesivă sau stricăciuni pînă la 25 \$. Dacă mașina nu este pusă la punct, paguba posibilă pînă la 400 \$.

7. Material sau produs — Calitatea camelor este esențială pentru a produce piese bune. Se lucrează din stocul de bare.

8. Proiecția altora — manevrarea barelor.

9. Munca altora —

Condiții ale activității

10. Condiții de lucru — zgomot, murdărie (ulei).

11. Riscuri inerente — mici zgîrieturi la mîna de la așchii.

Angajat : Joseph E. Hall (semnat)

Șef serv. P. Wurtz (semnat)

În organizațiile mai mari, în care este posibil ca mai mulți analiști să colecteze date pentru analiza funcțiilor, trebuie pus accentul pe uniformitate, pentru că cei care fac clasificarea propriu-zisă, nu vor avea adesea la dispoziție altă bază de evaluare în afara descrierilor și specificațiilor. Evaluările pot fi influențate de diferențele în stil, amplitudinea detaliilor și importanța dată diferitelor aspecte ale funcției.

Evaluarea funcțiilor. De obicei funcțiile sunt evaluate de un comitet. Componenta comitetelor de evaluare diferă substanțial în funcție de întreprindere, dar de obicei cuprind reprezentanți ai conducerii superioare, ingineri, salariați răspunzători cu personalul și relațiile industriale, maiștri, reprezentanți ai sindicatelor și, uneori, muncitori.

Motivele pentru care sunt necesare aceste comitete sunt: (a) pentru a asigura succesul acțiunii este necesar sprijinul diferitelor elemente ale unei organizații, datorită importanței vitale a problemei salariilor, și (b) judecata colectivă se bucură de o mai mare încredere, decât orice judecată individuală, indiferent de experiența persoanei.

Procedura obișnuită este că fiecare membru al comitetului să facă o apreciere individuală și apoi rezultatele sunt adunate și se discută diferențele. Deseori, unul sau mai mulți membrii ai comitetului vor fi influențați de argumentele prezentate și-și vor schimba aprecierile inițiale. Deciziile finale ale comitetului devin clasificări ale funcțiilor. Tabelul 21.I prezintă evaluările prin punctaj a 50 de funcții pentru o întreprindere productivă unică, rezultate în urma acțiunii comitetului. După ce toate funcțiile au fost clasificate, se face de obicei o verificare încrucișată pentru a vedea dacă aprecierile respectă factorii și treptele. De obicei, cu această ocazie se mai fac unele modificări.

Tabelul 21.I. Evaluarea prin punctaj a 50 de funcții dintr-o întreprindere productivă mică.

Nr. de puncte	F u n c Ț i i	Nr. de puncte	F u n c Ț i i
1	2	3	4
320	mașinist prototipuri	292	ștanțor angrenaj A
319	specialist ascuțire	292	strung cu motor
306	specialist ascuțire scule	290	controlor, trasare și primul articol
301	electrician întreținere	285	controlor, angrenaje
297	operator mașină New Britain	275	perforator A
297	strung revolver A	270	lucrător la menghină A
		269	monitor electromecanic
2	utilaj ascuțire A	265	controlor atelier A
265	frezor A	220	perforator B
264	funcționar control producție	220	funcționar stoc materii prime

1	2	3	4
261	strung revolver B	219	mecanic de întreținere
261	mașină automată Brown-Sharpe A	218	polizare A
251	expeditor	217	responsabil magazie scule
245	funcționar control materiale	190	ajutor de expeditor
235	controlor piese finite B	185	ajutor funcționar expediere și recepție
235	controlor ansamble finite	184	strung revolver C
234	mașină filetat manual	175	funcționar stocuri
234	lucrător menghină B	171	montor mecanic
231	montor mecanic A	169	vopsitor
229	frezor B	160	perforator C
228	șofer	160	operator polizor
226	montor subansamble electrice	160	portar
225	șlefuitor suprafețe B	155	polizare B
224	controlor atelier B	130	pus etichete pe piese
221	controlor, recepție și expediție	130	pus etichete și clasare
221	mașină automată Brown-Sharpe B	120	ambalator piese
220	ștanțor angrenaj B	120	montor mecanic subansamble B
		120	însoțitor scule și dispozitive

Corectitudinea și fiabilitatea clasificărilor. Corectitudinea efectivă a clasificărilor este foarte greu de determinat, pentru că nu există un criteriu obiectiv de validare. Dacă acesta ar exista, adică dacă am avea o anume măsură a ceea ce sînt valori relative „corecte”, nici nu ar mai fi nevoie de clasificări. În ultimă analiză, corectitudinea sistemului depinde de acceptarea sa de către diferitele părți implicate.

Sfera acestei acceptări este mult mai complexă decît cea presupusă de clasificările în sine, depinzînd de factori cum sînt relațiile angajat — cel ce angajează, relațiile sindicale, modul de pregătire și prezentare a programului și, poate de o mulțime de alți factori umani.

Fiabilitatea clasificărilor este o altă problemă. Ea se referă la consecvența și priceperea comitetului care utilizează sistemul de clasificare, de a regăsi vechile rezultate la o nouă analiză. S-au executat studii generale ale fiabilității evaluării funcției, care indică un procent de erori de 3—5% și coeficienți de corelare de cca 0,97 [12] între clasificările făcute la diferite intervale.

Precizia finală a scării de dificultate a funcțiilor. Prezintă oare tabelul 21.I. un clasament realist al valorilor relative ale celor 50 de funcții?

Dacă da, ar însemna că avem o precizie de un punct în clasificarea funcțiilor. Dar am arătat deja că există un procent de 3—5% erori și scara noastră finală va reflecta aceasta. Dacă nu putem face clasificări decât cu un procent constant de erori de 5%, nu putem justifica o scară cu gradații atât de mici. Ca urmare se fac de obicei grupări sau clase de funcții, cu 10 pînă la 12 clase reprezentînd cu destulă corectitudine limita de precizie a scării finale. Toate funcțiile care cad într-o clasă sau categorie de muncă, sînt privite ca fiind de valoare relativă egală. Cele 50 de funcții din tabelul 21.I au fost împărțite în 10 categorii de muncă cu limite de punctaj după cum urmează :

Categoria de muncă	I	120—140 puncte
	II	141—160 puncte
	III	161—180 puncte
	IV	181—200 puncte
	V	201—220 puncte
	VI	221—240 puncte
	VII	241—260 puncte
	VIII	261—280 puncte
	IX	281—300 puncte
	X	301—320 puncte

Astfel, primele patru funcții din tabelul 21.I, mașinist prototipuri, specialist ascuțire universală, specialist ascuțire scule și electrician întreținere, au fost plasate în categoria X și apreciate ca avînd valori egale. Această grupare a funcțiilor pe 10 categorii de muncă este mai realistă și duce de asemenea la o împărțire care este mai ușor de aplicat, decât împărțirea prin punctaj individual, ca în tabelul 21.I.

Studii asupra distribuției salariilor

Angajații nu sînt niciodată dispuși să primească puncte în locul salariilor, astfel încît punctajele determinate prin evaluarea funcției trebuie transformată în valori bănești. Deseori studiile asupra distribuției de salarii joacă un rol important în această procedură. Rolul studiului domeniului este de a lega valorile relative ale acestor funcții cu valorile existente pentru a ajuta luarea deciziilor de către conducere privind nivelul salariilor și o structură satisfăcătoare a acestora.

Datele despre salarii privind funcții cheie comparabile se obțin dintr-o selecție de organizații. Structura acestei selecții depinde într-un fel de obiectivele firmei care execută studiul. Astăzi, studiile asupra salariilor se execută în mod frecvent și cele mai multe organizații acceptă să colaboreze oferind date, în special dacă li se oferă rezultatele studiului. Unele organizații au un schimb continuu de date privind salariile, pe baza unor acorduri, cu un grup de alte companii. De asemenea, un număr de asociații naționale și locale fac studii periodice ale salariilor și pun rezultatele la dispoziția întreprinderilor membre.

Problema tehnică majoră în executarea unui asemenea studiu este stabilirea comparabilității funcțiilor. Nu plecăm de la ideea că funcțiile similare ca nume au același conținut. De exemplu, două funcții de ope-

rator la strung revolver pot diferi considerabil în ce privește dificultatea, la unul fiind necesară pregătirea mașinii și apoi executarea pieselor, la celălalt mașina fiind pregătită de altcineva. Două funcții de operator la strung paralel pot și ele diferi în ce privește dificultatea muncii; spre exemplu, unul poate executa lucrări de serie cu toleranțe mai mari, în timp ce altul lucrează pe prototipuri cu toleranțe foarte mici care cer o calificare, inițiativă și ingeniozitate considerabile, pentru citirea desenelelor, pregătirea mașinii și executarea operațiilor cerute. Ca urmare, se consideră că cel mai corect este să se meargă la întreprinderile care au fost selectate cu o scurtă descriere a funcției și să se întrebe: „Aveți o funcție similară cu aceasta?”.

Principii pentru elaborarea structurilor de salarizare pentru salariile de bază

Cînd angajaților li se plătesc salarii orare, trebuie să se răspundă unor întrebări cum sînt cele ce urmează:

1. Pentru o anumite categorie de lucrări, ce nivel de salarii trebuie plătit, cu alte cuvinte, care este salariul minim pentru o categorie și care este cel maxim?
2. Ar trebui să existe o suprapunere între nivelele de plată pentru trepte de salarizare alăturate? Dacă da, ce mărime să aibă aceasta?
3. Cîte categorii de lucrări ar trebui să fie folosite?
4. Pe ce bază se vor mări salariile angajaților în domeniul de plată stabilit pentru acea clasă?

De fapt, domeniul (clasa) de salarizare, suprapunerea între trepte, mărimea în puncte a claselor de activitate și panta liniei cîștigului sînt toate legate între ele. O modificare a oricăreia dintre ele cere o schimbare a cel puțin uneia din celelalte. Pentru linia cîștigului se fixează în general pe alte considerente, așa cum s-a arătat deja. Nu vom uita totuși că aceasta este o determinantă parțială a combinației clasă-suprapunere-lățimea treptei.

Pentru a realiza combinația dorită salariu-suprapunere, sînt posibile unele modificări în lățimea treptei. Numărul cel mai mic de clase pe care îl putem utiliza este indicat de precizia cu care muncitorii (sau oricine altcineva) pot face distincția între valoarea relativă a activității fără ajutorul evaluării funcției. Putem deci utiliza această flexibilitate în ce privește numărul de categorii pentru a influența pozitiv dezvoltarea structurii finale de salarizare dorită.

Salarizarea stimulativă

Stimulentele sînt adesea utilizate pentru a recompensa o persoană a cărei activitate este bună. În asemenea sisteme, accentul se pune pe can-

titatea produsă, pe calitate, pe utilizarea rațională materialelor ca și pe alți factori. În unele cazuri, stimulentele de plată înlocuiesc variația domeniilor de salarizare, unde activitatea rodnică a fost răsplătită numai printr-o creștere a nivelului salariului în limita domeniului stabilit. În aceste

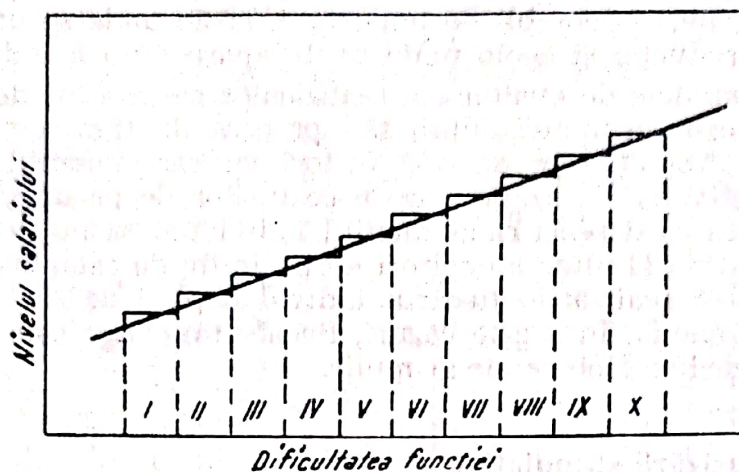


Fig. 21.1. Structura de bază a salarizării, folosită adesea împreună cu stimulentele. Plata stimulentele înlocuiește domeniile de salarizare.

cazuri, sistemele de stimulare stabilesc o normă de activitate și plătesc prime atunci când aceste norme sînt depășite. Astfel structura de salarizare de bază, atunci cînd se folosesc sisteme de stimulare, de obicei nu are trepte, întrucît fiecare angajat poate determina cît va primi peste salariul de bază, în funcție de randamentul zilnic. Fig. 21.1 prezintă această structură de salarizare de bază. În unele cazuri, totuși, diferențele individuale în ce privește randamentul se pun în evidență, atît prin trepte de salarizare cît și prin stimulente.

Structura de bază a modelelor de salarizare stimulative

Modelele stimulative menționate mai înainte sînt formate din combinarea a două norme de bază : o *normă de salarizare* și o *normă de lucru*. Norma de salarizare este salariul orar de bază plătit pentru munca ilustrată prin structura de salarizare de bază din fig. 21.1. Norma de lucru este criteriul pentru evaluarea activității, bazată de obicei pe măsurarea muncii : așa cum s-a arătat în capitolul precedent. Ea s-ar putea baza și pe alte metode, ca : estimări neoficiale ale normelor sau negocieri. De asemenea, normele de lucru ar putea fi mai complexe decît o simplă măsurare a producției realizate și ar putea include și alți factori măsurabili. Se construiește apoi un model de salarizare stimulatîv care raportează salariile plătite la activitatea depusă. Există desigur mai multe moduri de a face acest lucru. Calea cea mai obișnuită constă probabil în a face plățile direct proporțional cu realizările peste normă.

Alte metode de evaluare a realizărilor

Destul de des este justificată utilizarea altor metode de evaluare a realizărilor decât randamentul individual. Acesta se aplică în special acolo unde se lucrează cu mașini automate sau semiautomate, acolo unde calitatea este un criteriu deosebit de important, acolo unde se utilizează linii integrate de producție și acolo unde poate apare munca indirectă.

Uneori, metodele de evaluare a realizărilor ca procent de defecte sau procent de folosire a materialului, sau procent de timp de staționare a mașinii sau combinații ale acestor factori cu randamentul se pretează mai bine obiectivelor de minimizare a costurilor de producție. Se întâmplă de asemenea ca deseori randamentul individual să nu poată fi măsurat independent de al altor muncitori — la liniile de asamblare de exemplu — pentru că realizările fiecărui individ depind de realizările altora ce lucrează pe bandă. În aceste cazuri, fiecare muncitor este plătit corespunzător realizărilor globale ale grupului.

Avantajele salarizării stimulative

Salarizarea stimulativă oferă un număr de avantaje substanțiale atunci când sînt corect aplicate. În primul rînd, angajații agreează oferta unei plăți suplimentare pentru realizări mai mari. Aproape tipic, indicii randamentului mediu la salariul fără stimulente sînt între 60 și 90%. Când se introduc stimulente directe, indicii medii cresc la cca 120—130%. Aceasta ridică totdeauna întrebarea : Se lucrează într-adevăr mai repede ? Fără îndoială că ritmul de lucru crește, dar diferența cea mai mare pare să conteze în reducerea timpului nelucrat, iar îmbunătățirea utilizării timpului se reflectă în indicii mai mari ai randamentului. Fig. 21.2. redă un grafic real al indicilor de randament pe o perioadă de 34 de săptămîni în două secții ale unei întreprinderi din Los Angeles. S-au stabilit toate normele de realizări și s-au ținut evidente cu trei luni înainte de introducerea sistemului stimulat. Rezultatele obținute prin aceste stimulente în salarizare sînt foarte evidente. Avantajul pentru angajați este evident, căci salariile lor au crescut direct proporțional pe măsura creșterii indicilor de randament peste 100%.

Trebuie să arătăm că unul din avantajele într-adevăr importante ale sistemului stimulat din punct de vedere economic este acela că asigură o capacitate echivalentă printr-o instituție mai mică.

Un alt factor important este stabilitatea cheltuielilor cu salarii directe pe unitate, atunci când se utilizează un model cu premii de 100%, sau un model pe bucată. Pentru amîndouă aceste modele (care reprezintă majoritatea), cheltuielile cu salarii directe pe unitate sînt o constantă pentru realizările peste normă. Acest fapt este de mare importanță în controlul și previziunea cheltuielilor cu salarii directe. Să ne amintim din discuția noastră despre măsurarea muncii că atunci când norma de bază a realizărilor este la un minim acceptabil, cca 95% din numărul

muncitorilor vor fi capabili să îndeplinească sau să depășească norma. Semnificația acestui fapt din punct de vedere al cheltuielilor cu salarii directe pe unitate este aceea că, de fapt, cu foarte mici diferențe, cheltuielile normate pentru salarii directe cu stimulente sînt chiar cheltuielile efective. Ca urmare, unul din elementele cu o pondere însemnată în

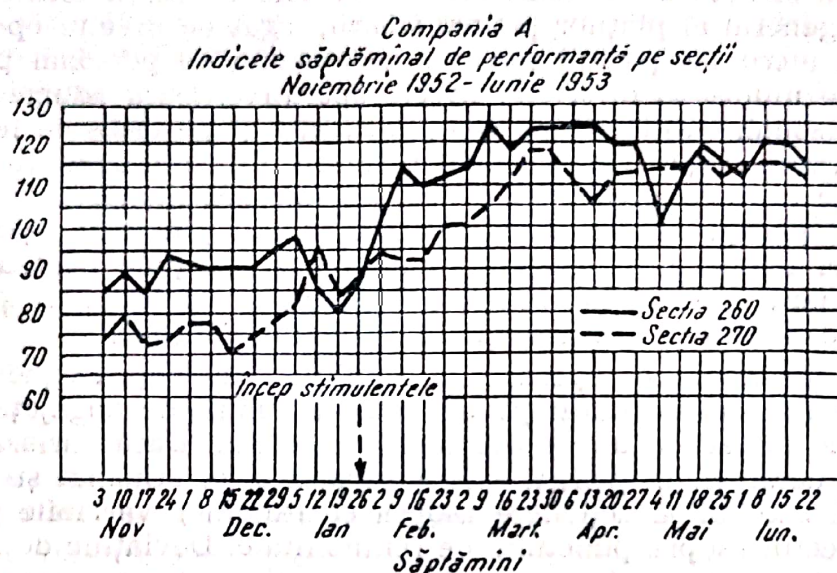


Fig. 21.2. Graficul productivității înainte și după introducerea salarizării stimulative în două secții ale unei întreprinderi producătoare (după [5]).

costul de fabricație total este previzibil. Deși cheltuielile cu salarii directe în modelul cu împărțirea cîștigului nu reprezintă o constantă peste salariul garantat, ele sînt mai stabile decît în cazul unei modalități de plată strict orare.

Controale

Evaluarea funcțiilor, structurile de salarizare, măsurarea muncii și aplicarea salarizării stimulative implică un număr de controale. Unele dintre acestea se rerefă la probleme de personal, altele sînt direct legate de controlul cheltuielilor de muncă.

Vom analiza controalele de personal foarte succint. O tratare adecvată a acestor aspecte poate fi găsită în bibliografie [6], [12]. Pe scurt, aceste controale se referă la concordanța dintre personal și caracteristicile funcțiilor, la menținerea unor nivele de salarizare competitive pentru atragerea și păstrarea unor angajați cu calitățile potrivite, la clasificarea corectă a angajaților pe funcții și clase de lucrări și la sistemele de diferențiere a meritelor atît pentru dezvoltarea și instruirea personalului ca și pentru a sprijini determinarea treptelor de plată în cadrul claselor.

Mai există și alte controale, în care accentul principal se pune pe controlul cheltuielilor de muncă, indirecte sau directe. Acestea au deseori și ele aspecte importante legate de relațiile de personal. Totuși, pe noi ne interesează aspectele controlului cheltuielilor de muncă.

Controlul cheltuielilor totale cu salariile. Normele de salarizare, exprimate în structura de salarizare și normele de lucru formează baza controlului general al plăților pentru salarii, legat de nivelul operațional. Normele de lucru fac posibil calculul necesarului de personal pe diferitele clase de muncă la diferitele nivele operative. Dacă adunăm necesitățile de personal, clasificate pe compartimente și pe clase de lucrari, se poate elabora un buget variabil pentru salarii, utilizând salariul mediu al fiecărei clase de lucrări ca bază de calcul, folosind numărul de salariați care trebuie plătiți. Aceste bugete pentru salarii pot servi apoi pentru două scopuri importante: asigurarea unei baze parțiale pentru planificarea financiară în condițiile schimbării nivelelor operaționale și utilizarea ca mijloc de control direct asupra cheltuielilor cu salariile.

Pentru fiecare nivel operațional, maestrul sau supraveghetorul are un buget pentru salarii bazat pe un anumit număr de angajați în anumite clase de lucrari la un salariu mediu al clasei. Dacă variază nivelul operațional, acest buget pentru salarii variază și el automat și supraveghetorul are sarcina să acționeze asupra cheltuielilor variabile pentru a minimiza efectul asupra punctului de rentabilitate. Deviațiile de la cifrele acestor bugete pentru salarii necesită explicații și luarea unor acțiuni. Supraveghetorul are latitudinea să decidă în cadrul claselor de salarizare în care se încadrează funcțiile din departamentul său. Salariații noi și neexperimentați vor fi încadrați în primele trepte, în timp ce salariații cu vechime vor fi probabil plătiți corespunzător unor trepte mai înalte.

Controale asupra randamentului și cheltuielilor de muncă. La baza acestor controale stau normele de lucru obținute prin măsurarea muncii. Fie că se utilizează sau nu un sistem stimulator, raportările rezultatelor în muncă pe fiecare salariat, pe servicii, pe direcții etc., sînt de un real folos, arătînd fiecărui salariat cum este măsurată activitatea sa și ajutînd la stabilirea randamentului global al muncii pe ateliere, secții și uzină. Multe organizații afișează aceste cifre și aceasta are în sine un efect stimulator asupra angajaților.

Normele de salarizare, împreună cu normele de lucru formează baza de calcul a *cheltuielilor de muncă normate*. Acestea sînt apoi comparate cu cheltuielile realizate, iar devierile de la cheltuielile normate trebuie explicate, după care se iau măsurile potrivite. Cheltuielile de muncă suplimentare pentru o anumită operație pot fi rezultatul folosirii unei munci de o clasă mai mare decît cea necesară sau a unui randament necorespunzător, sau a amîndorura. Rapoartele privind utilizarea personalului, treptele lor de salarizare, salariile normate, normele de lucru și realizările efective relevă sursa variațiilor de la cheltuielile planificate. Aceste opțiuni ale controlului cheltuielilor de muncă se încadrează în domeniul mai larg al controlului costurilor, discutat în capitolul următor.

Întrebări recapitulative

1. Discutați necesitatea măsurării dificultății activităților în pofida existenței controlului economic general al salariilor în cadrul nivelelor de calificare.

2. Care este diferența între metodele cantitative și necantitative ale evaluării activităților (funcțiilor)?

3. Discutați comparativ metodele de determinare a valorii relative a funcției: împărțirea în categorii, clasificare, compararea factorilor și sistemul punctajelor.

4. Care este importanța analizei funcției într-un program de evaluare a funcției?

5. De ce funcțiile sînt de obicei clasificate de către un comitet?

6. Care sînt modalitățile de măsurare a validității împărțirii pe clase a funcțiilor în urma evaluării?

7. Care sînt cele două norme principale pe care se bazează toate modelele salarizării stimulente?

8. Ce este un model de salarizare stimulativă cu premii de 100%? Dar un model de salarizare stimulativă, cu împărțirea cîștigului?

9. Ce măsuri ale randamentului se utilizează de obicei în modele de salarizare stimulative?

10. Ce tipuri de control rezultă din evaluarea funcțiilor structurale de salarizare, măsurarea muncii și aplicarea salarizării stimulative?

Bibliografie

- [1] Belcher, D. W. *Wage and Salary Administration* (II ed.). Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1962.
- [2] Brennan, C. W. *Wage Administration* Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1963.
- [3] Dalton, M. „Economic Incentives and Human Relations.” In: *Industrial Productivity*, L. Reed Tripp, editor, Monograph, No. 7, Industrial Relations Research Association, 1951.
- [4] Dalton, M. „The Industrial «Rate-Buster»: A Characterization.” *Applied Anthropology* (now *Human Organization*), 7 (1), 1948.
- [5] Demangate, D. C. „Statistical Evaluation of Worker Productivity.” *Proceedings, Sixth Annual Industrial Engineering Institute*, University of California, Berkeley-Los Angeles, 1954, pp. 89—91.
- [6] „The Truth About Wage Incentives and Work Measurement Today.” *Factory*, Apr. 1959.
- [7] Gilmour, R. W. *Industrial Wage and Salary Control*. John Wiley, New York, 1956.
- [8] Lanham, E. *Administration of Wages and Salaries*. Harper and Row, New York, 1963.
- [9] Loudon, J. K., J. W. Deegan, *Wage Incentives* (2nd ed.). John Wiley, New York, 1959.

Controlul și îmbunătățirea costurilor de producție

Practic, fiecare capitol al acestei cărți se ocupă, cel puțin în parte, de un aspect economic al producției și în multe din domeniile tratate, controlul costurilor poate fi în mod cert considerat unul din obiective. Spre exemplu, costul a fost un criteriu important în definirea activităților și a metodelor de muncă tratate în cap. 12. În cap. 7, proiectarea produselor și selectarea prelucrărilor au fost apreciate din unghiul costurilor de producție. Analiza amplasării și proiectării a privit sistemul de producție din punct de vedere al costului. În capitolele 15—21 am tratat problemele programării producției, controlului stocurilor, întreținerii și cheltuielilor de muncă integrate într-un sistem dominat sau cel puțin afectat parțial de criterii de cost. Acum, capitolul de față este intitulat „Controlul și îmbunătățirea costurilor de producție”. Ce a rămas de controlat după ce au fost luate diversele decizii ce s-au impus în capitolele precedente?

Pentru a răspunde la această întrebare, să subliniem fazele majore ale controlului costurilor.

1. Costurile de bază sînt determinate de decizii luate la proiectarea produselor și a sistemului de producție, adică alegerea prelucrărilor, organizarea și definirea activităților și metodelor de muncă și amplasarea și proiectarea sistemului. Deciziile din aceste domenii determină care vor fi costurile de fabricație minime posibile.

2. În baza operațională, se iau anumite decizii care determină cît de mult ne putem apropia de aceste costuri minime sau ideale. Programul general de producție este o încercare de atingere a proiectului inițial ideal, prin determinarea modului în care vom utiliza uzina și echipamentul, forța de muncă și stocurile și programul de întreținere; modul în care controlăm calitatea, stimulăm și plătim munca etc.

3. Controlul costului se ocupă cu deciziile operative care rămîn de luat după stabilirea tuturor deciziilor de bază discutate în 1 și 2. Aceste decizii operative sînt legate de utilizarea propriu-zisă a oamenilor, mașinilor și materialelor în atelierul de producție. Ce oameni repartizăm, pe ce mașini, pentru o anumită lucrare? Cum utilizăm în modul cel mai eficient materialele? Cum să ne asigurăm cooperarea oamenilor? Cum să-i instruim? O lucrare se execută pe mașina A. Avem o altă lucrare urgentă, care solicită mașina A, dar care poate fi executată cu costuri mai mari pe mașina B. Să absorbim costurile suplimentare de pregătire,

prin întreruperea lucrării de pe mașina A. Deciziile operative de zi cu zi, luate de obicei de șeful producției, nu sînt altceva decît răspunsurile la o listă interminabilă de întrebări, precum cele de mai sus.

Controlul costului încearcă, printr-un sistem de bugete și rapoarte, să stabilească norme de cost curente și face responsabil pe șeful producției pentru eficiența cheltuielilor, urmărind dacă deciziile pe care le ia sînt avantajoase pentru organizație.

4. *Îmbunătățirea costurilor* rezultă din continua reexaminare a amplasamentelor, metodelor, sculelor, materialelor, proiectelor etc., pentru a aduce îmbunătățiri în aceste domenii, precum și dintr-o revizuire a normelor de cost pe care este bazat controlul costurilor. Multe organizații au elaborat programe foarte judicioase pentru îmbunătățirea costurilor, fie apelînd la un grup specializat de ingineri, fie utilizînd sursa la idei oferite de maiștri și controlori. Îmbunătățirea costurilor constituie subiectul celei de-a doua secțiuni a acestui capitol.

Controlul costurilor

Am definit controlul costurilor ca referindu-se la deciziile operative de zi cu zi care afectează costul producției. Așa cum am văzut, cei responsabili direct cu producția nu au atribuții largi care să le permită modificarea costurilor de bază, dar ei pot *influența* costurile reale care apar, prin mai multe mijloace. De exemplu, ei exercită controlul asupra unor aspecte ca timpul de întreruperi, alocarea cu detaliu a lucrărilor pe oameni și mașini, viteza și eficiența lucrului executat, cantitatea de rebuturi produse și modul de utilizare a materiilor prime. Pe de altă parte, există multe categorii de costuri asupra cărora aceștia nu exercită nici un control; de exemplu, mărimea uzurii, taxele și impozitele, partea de cheltuieli administrative.

Centre de responsabilitate a costurilor

Concepția generală pe care se bazează controlul costurilor stabilește răspunderea șefilor coordonatori pentru costurile controlabile la punctele unde sînt generate aceste costuri. Acesta este un concept identic cu ideea centrului de cost folosită în contabilitatea convențională legată de costuri. În acest din urmă caz, centrele de costuri sînt puncte de „colectare” a cheltuielilor de produs; în mod normal, centrul de costuri este încărcat cu o parte din amortizări, cheltuieli indirecte și administrative, pe lîngă cheltuielile care apar efectiv în cadrul centrului de cost. În scopuri de control, șeful coordonator poartă responsabilitatea numai pentru aceste costuri pe care el le poate influența. Astfel, chiar dacă limitele fizice ale centrelor de colectare a cheltuielilor pe produs vor fi probabil aceleași cu cele ale centrelor de control, trebuie admisă o diferență substanțială în ce privește scopurile lor.

Costuri standard

Cu toate că obiectivul controlului costurilor este destul de ușor de enunțat, este foarte greu să se stabilească unități de măsură realiste ale eficienței, care să dea coordonatorilor flexibilitatea de care au nevoie pentru a minimiza costurile. Tendința de a stabili norme de cheltuieli foarte detaliate contravine uneori acestui obiectiv. De exemplu, un șef de atelier se găsește în situația în care are o comandă urgentă, dar oamenii și mașinile care ar trebui în mod normal să execute operațiile sînt ocupate. Dacă introduce lucrarea prioritară pe mașina cerută, va trebui să absoarbă cheltuielile suplimentare de repregătire a mașinii pentru executarea ulterioară a lucrării neterminate. Există totuși timp disponibil — om și mașină — pe o mașină înlocuitoare care poate executa operația la un cost mai mare, necesitînd un timp mai îndelungat și o retribuire mai mare a mecanicului respectiv. Șeful de atelier este pus într-o situație deloc plăcută. Dacă acceptă prima alternativă, în evidența cheltuielilor vor apărea costuri mai mari de pregătire, iar dacă o alege pe cealaltă, vor apărea costuri mai mari (nivel salarîu) $\times$ (timp necesar). El o va alege pe aceea care va apărea mai favorabil în evidențe, cînd, de fapt, o analiză corectă arată necesitatea folosirii capacității neutilizate disponibile, care aproape că nu cere nici o cheltuială variabilă netă pentru întreprindere.

Defectul acestui concept de control constă în modul de apreciere a costurilor. Dacă el ar fi fost răspunzător pentru costul total al operației și nu pentru costurile individuale, și-ar fi putut permite să adopte punctul de vedere al costului variabil. Aceasta nu înseamnă că n-ar trebui să existe costuri individuale; coordonatorul are nevoie de aceste informații pentru a putea lua o decizie corectă. Ceea ce îi trebuie însă în plus, este o modalitate de măsurare a eficienței care să-l stimuleze să minimizeze totalul costurilor pe care le controlează.

Cu toate dificultățile implicate, eficiența costului trebuie să fie și este luată în considerare. Două sînt motivele importante pentru care ea trebuie măsurată. În primul rînd, dacă un supraveghetor știe că activitatea sa va fi analizată, va reacționa diferit față de situația cînd crede că nimeni nu-l va controla. Apoi, prin colectarea de date privind rezultatele din trecut, putem trage învățăminte pentru a îmbunătăți eficiența în viitor. În general, se utilizează următoarele măsuri ale eficienței costurilor :

Realizările din trecut. Datele de costuri sînt comparate cu cifrele din săptămîna, luna, anul trecut. Dificultatea constă în faptul că nu se poate spune care ar fi trebuit să fie eficiența costurilor. Datele din anul trecut pot reprezenta un nivel slab sau o eficiență foarte bună. Faptul că cifrele pentru salarii indirecte au fost 200\$ pe săptămîină timp de zece săptămîni, nu demonstrează nimic. Aceste realizări — s-ar putea să reprezinte o eficiență constant slabă.

Realizări în situații comparabile. Uneori, doi supraveghetori au lucrări aproximativ comparabile, astfel încât realizările lor pot fi comparate. În special în situațiile mai multor fabrici, se pot face comparații între fabrici, luate în întregime, ca și între diferite secții.

Cum condițiile nu sînt niciodată perfect comparabile, există pericolul explicării diferențelor în eficiența costurilor prin capacitatea conducerii respective.

Costuri standard și bugete. Costurile standard sînt determinate în urma unei analize a condițiilor și urmăresc să indice care ar trebui să fie costurile în condiții standard. De exemplu, costul standard pentru material la o piesă ștanțată dintr-o foaie de oțel poate fi determinat prin trasarea piesei pe foaia de oțel utilizată ca materie primă. O proastă utilizare a materiei prime va duce la costuri de material mai mari decît costul standard. Dacă materia primă este defectă, aceasta va reprezenta o condiție nestandard. Costurile standard reflectă costurile care ar trebui realizate, presupunînd îndeplinite anumite condiții. Dificultatea constă în faptul că aceste costuri nu pot de obicei reflecta toate condițiile posibile, cum ar fi variațiile în încărcare și presiunile pentru terminarea unei lucrări prioritare. Totuși, costurile standard pot determina aproximativ care ar fi trebuit să fie costurile, permițînd explicarea devierilor de la condițiile standard.

Toate aceste trei feluri de măsurare a realizărilor sînt utilizate. Chiar cînd într-o organizație se utilizează un sistem de control al costurilor bazat pe costul standard, se pot folosi ca măsuri adiționale realizările din trecut și situațiile comparabile.

Costuri standard și bugete

Costurile standard sînt deseori utilizate ca bază pentru controale, comparația între realizat și normat indicînd dacă eficiența a fost bună sau nu. Pentru ca să se poată realiza această funcție, este *strict necesar* ca : (a) condițiile standard să fie definite cu atenție, (b) să se stabilească cu grijă normele fizice sau de timp pe care se bazează costurile standard și (c) normele să fie menținute și actualizate, fiind schimbate atunci cînd se modifică proiectele, materialele, compoziția produsului, nivelele de muncă, metodele, mașinile, amplasările sau alte condiții importante. În absența unor norme stabilite și menținute cu grijă, costurile standard nu au o valoare mai mare decît datele despre realizările din trecut.

Costuri standard pentru salarii directe și materiale

Costurile standard pentru salarii directe se bazează pe cele două norme discutate anterior : norma de timp și norma de salarizare. Costul standard pe unitate rezultă simplu ca produs al normei de timp pe unitate (în ore) și norma de plată orară.

Costul standard unitar pentru materiale, este produsul dintre un preț unitar pe kg, metru², metru etc. și o cantitate normată folosită pentru producerea unei unități. Devierea de la standard poate proveni dintr-o variație a prețului și o variație a utilizării. Întrucât, în general, supraveghetorii producției nu pot influența prețul materialului, variația prețului este de obicei eliminată din rațiuni de control, prin utilizarea prețului normat pentru toate materialele folosite. Variațiile de la costul standard reflectă astfel variația de utilizare, pe care supraveghetorii se presupune că o pot controla.

Costuri standard generale. Costurile generale includ o atît de largă varietate de cheltuieli încît este greu să se enunțe un mod precis de comportare a lor. Desigur, unele costuri clasificate ca generale, cum sînt amortizarea și impozitele, nu intră în aria de control a supraveghetorilor producției (deși în organizație există persoane care le pot controla într-o anumită măsură). Pe de altă parte, multe cheltuieli generale pot fi influențate de supraveghetori. Sîntem interesați de comportarea acestor costuri în funcție de volum, astfel încît să se poată stabili standarde de cost corespunzătoare diferitelor nivele operaționale. Pentru secțiile sau uzinele cu producție foarte specializată pentru măsurarea volumului, cele mai potrivite sînt unitățile fizice, cum sînt unitățile, chintalele sau tonele de produse. Orele de muncă directe reprezintă o unitate de măsură potrivită pentru ateliere sau alte activități în care produsele sau serviciile executate nu sînt omogene. Valoarea salariilor directe este mai puțin indicată ca unitate de măsură, deoarece perioade diferite pot reflecta o inflație a salariilor și a nivelului vânzărilor. Valoarea producției expediate este și mai puțin indicată ca măsură a volumului, datorită atît efectelor inflaționiste, cît și decalajului între vânzări și producție și a schimbărilor în stocuri.

Din punctul de vedere al variației în funcție de volum, majoritatea costurilor generale se încadrează în unul din următoarele patru tipuri:

1. *Variabile.* Pe măsură ce crește volumul, costul crește direct proporțional; de exemplu, costul energiei, al lubrefianților, al resurselor.

2. *Invariabile.* Volumul nu are nici o influență asupra costului. Aici intră amortizarea clădirilor, impozitele pe proprietate, supravegherea generală.

3. *Semivariabile.* Pe măsură ce crește volumul, cresc și costurile, dar nu direct proporțional. De exemplu, salariile indirecte și întreținerea.

4. *Funcție treaptă.* Pe măsură ce crește volumul, cresc și costurile, dar în salturi. De exemplu, pentru 80—120% din activitatea normală nu sînt necesari funcționari suplimentari, dar peste acest nivel este nevoie de un funcționar în plus. Alte costuri care se pot preta la acest gen de evoluție sînt supravegherea unor cheltuieli indirecte etc.

În fig. 22.1. se prezintă o diagramă a acestor patru tipuri de variație a costului. În mod normal, o astfel de evoluție a costurilor este valabilă

numai într-un domeniu definit al volumului așa cum este indicat prin liniile neîntrerupte din fig. 22.1. Dacă se impun condiții radical diferite (spre exemplu, o întrerupere a producției sau adăugarea unui schimb) tipurile de cost se pot schimba considerabil.

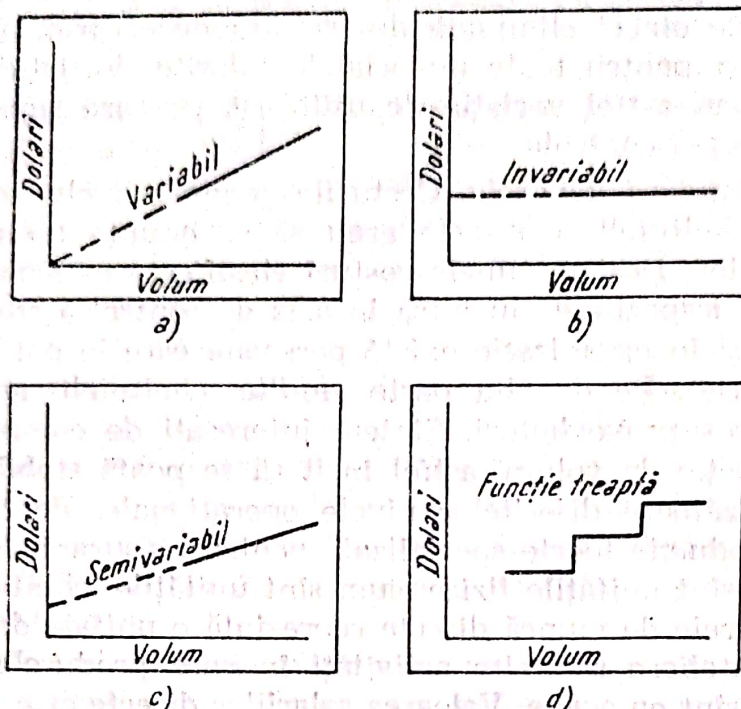


Fig. 22.1. Patru modele tipice de costuri.

Standardele pentru cheltuieli generale sînt adesea construite sub forma unui *buget variabil* care prezintă standardul de cost pentru diferite mărimi ale volumului. Evident, aceste bugete nu pot fi atît de precise cum sînt costurile standard pentru salarii directe și materiale, deoarece multe din elementele costului nu pot fi prevăzute. Totuși, ele reprezintă cea mai bună estimare posibilă a mărimii costurilor, demonstrînd supraveghetorilor că sînt apreciați pe baza eficienței costurilor și asigurînd în același timp informații care pot ajuta la reducerea costurilor în viitor.

Figura 22.2. este un exemplu de buget variabil pentru cheltuieli de fabricație, pregătit de un mare concern pentru secția sa de fabricație. Observați natura semivariabilă și în trepte a unui mare număr de costuri. Bugetul cuprinde costuri standard pentru diferite nivele de activitate. Astfel, supraveghetorul știe dinainte că dacă activitatea va scădea de la 80% la 70% de exemplu, bugetul său pentru salarii indirecte scade de la 2 000 \$ la 1 750 \$. Prin atingerea acestor obiective de cost., el va ajuta la prevenirea unei creșteri a punctului de rentabilitate în cazul unei scăderi a volumului. În mod similar, dacă activitatea crește, bugetul său va crește automat la multe articole. În mod obișnuit nu sînt incluse bugetele pentru costuri ce nu se află sub controlul supraveghetorului, ca de exem-

**CORPORATIA GENERALA
DIVIZIA AVIATIE**

Buget lunar cheltuieli fabricatie

Sectia Fabricatie
Şef secţie Carson

Anul 1960
Activitate normală : 85 000 ore
Bază ore muncă normale

Salarii	La sută din activitatea normală									
	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%		
Maiştrii principali	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$ 700	\$	700
Maiştrii	1 900	1 900	1 900	2 200	2 200	2 200	2 600	2 600	\$	2 600
Functionari etc.	700	700	950	950	950	950	950	950		1 200
Salarii indirecte	3 300	3 300	3 550	3 850	3 850	3 850	4 250	4 500		
Combustibil	1 500	1 750	2 000	2 250	2 500	2 750	3 000	3 250		
Forţă	360	400	440	480	520	560	600	640		
Apă	2 620	3 020	3 430	3 870	4 300	4 740	5 140	5 320		
Intreţinere şi reparaţii	210	220	230	240	250	260	270	280		
Aprovizionare	1 630	1 875	2 050	2 500	2 500	2 790	3 070	3 300		
Deplasări	270	315	360	405	450	495	540	585		
Telefon, telegraf	70	70	100	100	100	100	120	120		
Ambalaje, conţinere	70	80	90	100	100	100	120	120		
Recreere şi donaţii	150	175	200	225	250	275	300	325		
Diverse	30	40	50	50	50	60	60	60		
	120	130	150	160	175	190	200	210		
Subtotal	10 330	11 375	12 650	14 230	15 045	16 170	17 670	18 710		
Amortizare — clădiri	900	900	900	900	900	900	900	900		
Amortizare — maşini şi echipamente	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800		
Impozite pe proprietate	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200		
Asigurări	350	350	400	400	400	400	400	450		
TOTAL	\$ 14 580	\$ 15 625	\$ 16 950	\$ 18 530	\$ 19 345	\$ 20 470	\$ 21 970	\$ 23 060		

Fig. 22.2. Exemple de buget variabil.

plu, amortizarea sau, dacă sînt cuprinse, cum este cazul în fig. 22.2, ele nu sînt luate în considerare la aprecierea eficienței costurilor supraveghetorului.

Bugetele de acest fel trebuie întocmite cu participarea celor răspunzători de executarea lor, nefiind indicat să le fie impuse de sus, deoarece eficiența depinde mai curînd de efectul psihologic și stimulare decît de relațiile mecanice dintre volum și cost. De obicei, rapoartele lunare indică mărimea bugetului pentru fiecare articol, suma efectivă cheltuită și explicații pentru diferențele mari; variația costurilor considerată a fi aleatorie sau normală este ignorată, chiar dacă nu sînt stabilite limite de control riguroase.

Îmbunătățirea costului

De mulți ani programele de ameliorare a costului sînt un lucru obișnuit în activitatea economică. Ele acoperă o întreagă gamă de sisteme de sugestie, cursuri de pregătire organizate pentru supraveghetori și pentru alte genuri de personal operator și uneori chiar pentru muncitori, servicii de ingineri specializați în metodologie; chiar și hotărîri bruște ale conducerii de a reduce masiv personalul de coordonare și operativ în vederea scăderii cheltuielilor. Probabil că diferența principală între acțiunea „din topor” a conducerii și un program bine gîndit de îmbunătățire a costului, ar fi următoarea; atunci cînd se reduc arbitrar cheltuielile se presupune că costul și cheltuielile sînt termeni sinonimi, în timp ce programele de îmbunătățire a costului compară alternative de cost.

Simpla reducere a cheltuielilor poate duce foarte bine la o activitate mai puțin eficientă și o creștere netă a costurilor unitare. Programele de îmbunătățire sînt proiectate pentru a stimula gîndirea creatoare asupra muncii, amplasărilor, sculelor, fluxului de materiale, într-un cuvînt asupra oricărui aspect care duce la un cîștig net pentru organizație. Îmbunătățirea activității existente implică în esență reaplicarea multora dintre metodele de analiză descrise anterior. Putem privi acest lucru ca un proces continuu de proiectare și reproiectare a sistemului de producție, pentru a îngloba ultimele tehnici și tehnologii. Ne vor interesa programele care încearcă să capteze sursele de idei de îmbunătățiri la nivelul supraveghetorului și muncitorului, numite adesea programe de simplificare a muncii.

Esența programelor de simplificare a muncii

Obiectivul acestor programe este să facă oamenii să gîndească creator asupra activității și să producă idei de îmbunătățire, care pot izvorî numai din contactul nemijlocit cu activitatea productivă. În consecință, programele eficiente urmăresc să stimuleze oamenii și să le dezvolte entuziasmul, transmitînd în același timp cunoștințe tehnice.

Programe de instruire pentru îmbunătățirea costului. Îmbunătățirea costului sau *programele de simplificare a muncii* cer de obicei un scurt curs de instruire și o formă organizatorică sau un sistem de urmărire pentru menținerea entuziasmului și pentru evaluarea și susținerea introducerii ideilor care apar. Cursul de instruire în sine are de obicei două obiective principale : să stîrnească interesul și entuziasmul inițial și să înarmeze cursanții cu uneltele analizei. Aproape întotdeauna, ca parte a programului de instruire, cursanților li se cere să aleagă o activitate curentă sau sarcină din serviciul în care lucrează și să o studieze. Aceste studii de caz sînt aduse în clasă și în urma unui „brainstorming” apar deseori noi posibilități de abordare în vederea soluționării. Lehrer [4] sintetizează astfel conținutul programelor de instruire în domeniul economic :

1. Semnificația simplificării muncii : ce este, cum s-a realizat ; ce însemnătate are pentru organizație ; ce importanță are pentru supraveghetori și subordonații săi ; cum poate fi utilizată.

2. Noțiuni economice : generalități ; legătura cu organizația ; importanța productivității ; ce ajutor poate aduce simplificarea muncii.

3. Factorul uman ; natura umană ; relații interumane ; rezistența la schimbări ; stimularea participării și entuziasmului.

4. Cum se rezolvă problemele : abordarea sistematică ; dinamici de grup ; gîndirea creatoare ; evaluarea și raportarea.

5. Instrumente de simplificare a muncii : analiza procesului ; analiza operațiilor ; analiza activității ; (posibil și alte instrumente specifice necesităților organizației).

6. Aplicarea sub îndrumare a simplificării muncii : proiecte individuale și de grup.

7. Continuarea aplicării după terminarea perioadei de instruire.

Rezultatele programelor de îmbunătățire a costului depind în mare măsură de felul în care acestea sînt conduse, de poziția „expertului” care se ocupă de program și de țelurile stabilite. Discutînd despre programul de simplificare a muncii de la Compania Procter and Gamble, Forberg [3] prezintă dezvoltarea programului pe o perioadă de 15 ani pentru organizarea personalului de conducere al firmei. Această dramatică evoluție apare în fig. 22.3.

În programul inițial, început în 1946, un specialist în organizare și inginerie reprezintă nucleul programului de îmbunătățire a costului. El a executat studiile cerute și a recomandat conducerii uzinei unele schimbări. Mai tîrziu, activitatea a fost reorganizată și specialistul a devenit coordonatorul îmbunătățirii costului în uzină. El a ajutat pe alți membri ai conducerii la elaborarea unor proiecte proprii, a elaborat cîteva proiecte personale și a condus programele de instruire pentru simplificarea muncii pentru conducerea medie și restul personalului. Această abordare reorganizată a dus la o creștere substanțială a sumelor din redu-

cerea costului, așa cum se arată în fig. 22.2. Mai târziu, s-au format echipe de 4—8 oameni care au asigurat un spirit competitiv și o posibilitate sporită de recunoaștere a obiectivelor încă nerealizate. Munca în echipă a condus în mod firesc la țeluri ale echipei și în final la obiective la nivelul uzinei privind îmbunătățirea costului. În această evoluție a existat

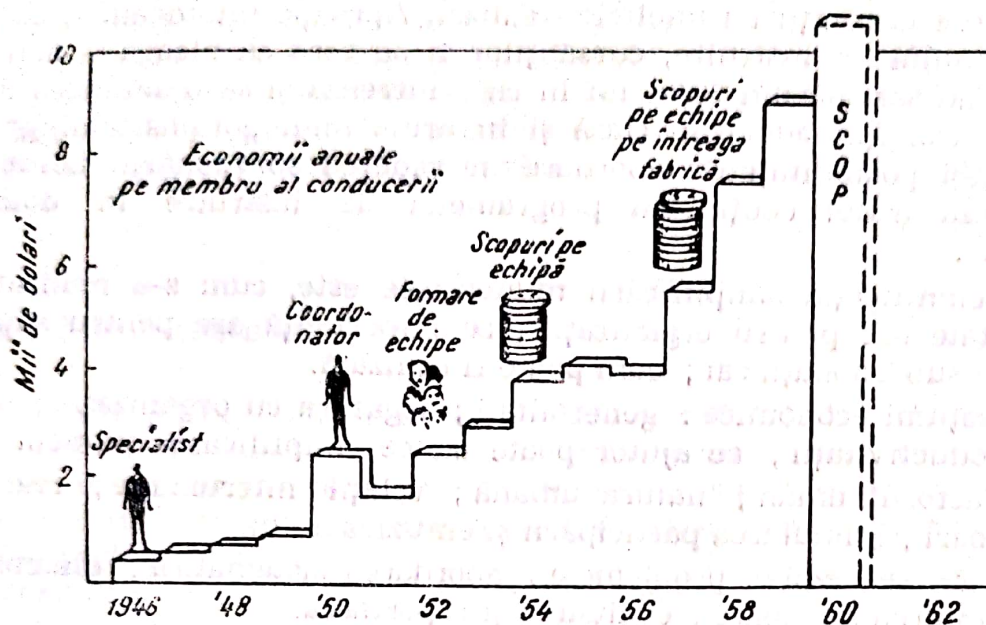


Fig. 23.3. Creșterea economiilor pe membru al conducerii la Procter and Gamble Company după [3].

de asemenea o tranziție în sensul că la început s-au luat în considerare de către echipă numai costurile aflate sub controlul or direct, trecându-se apoi la costurile întregii uzine. Obiectivul fixat pentru 1960 de 10 200 \$ economii anuale pe membru al conducerii a fost de peste 14 ori mai mare decât cel înregistrat la începutul programului (700\$).

Aplicații în domenii neproductive

Controlul costului și îmbunătățirea sa au o largă aplicabilitate. Sistemele cu standarde detaliate de cost nu sînt comune ariei neproductive, datorită faptului că deseori nu există norme de bază pentru salarii, materiale și cheltuieli generale. Totuși, programele de îmbunătățire a costului se bucură de o foarte largă circulație.

S-au realizat asemenea programe cu rezultate excelente pentru administrație, companii de asigurări, magazine, spitale și oficii guvernamentale.

Departamentul Armatei a raportat o reducere de cost de 13 362 877 \$ într-un singur an ca rezultat al unui asemenea program.

Întrebări recapitulative

1. Discutați cele patru mari faze ale controlului costului.
2. În ce fel poate controla costurile un supraveghetor al producției? Ce tipuri de costuri nu se află sub controlul său?
3. Faceți distincția între centre de cost și centre de răspundere pentru cost.
4. Cum este posibil ca normele detaliate de cheltuieli să poată contraveni obiectivului de bază de reducere a cheltuielilor totale?
5. Evaluați diferitele tipuri de unități de măsurare a eficienței costului utilizate în controlul costului.
6. Numiți trei factori importanți pentru succesul controlului prin costuri standard.
8. Ce este un buget variabil?
9. Care sînt obiectivele programelor de instruire pentru simplificarea muncii?
10. Care sînt rezultatele tipice ale programelor de instruire pentru simplificarea muncii în sfera economică?
11. Care sînt principalele învățăminte din experiența Companiei Procter and Gamble privind programele de îmbunătățire a costului?

Bibliografie

- [1] Anthony, R. N. *Management Accounting Principles*. Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1965.
- [2] Barnes, R. M. *Motion and Time Study* (VI ed.). John Wiley, New York, 1968.
- [3] Forberg, A. A. „Administration of the Industrial Engineering Activity.” *Proceedings, Twelfth Annual Industrial Engineering Institute*, University of California, Berkeley-Los Angeles, 1960.
- [4] Lehrer, R. N. *Work Simplification*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1957.
- [5] Nadler, G. *Work Simplification*. McGraw-Hill, New York, 1957.

Mutații în conducerea producției

Domeniul conducerii producției reflectă o stare de tranziție din mai multe puncte de vedere. Astăzi, înțelesul cuvântului „*producție*” are o semnificație mai largă decât în trecut. El se ocupă cu partea de „*operații*” din orice întreprindere și putem găsi sisteme de producție nu numai în fabrici și în birouri, magazine, spitale etc. În toate aceste sisteme există niște intrări, un anumit tip de prelucrare și ieșiri. Conducerea producției se ocupă cu luarea deciziilor în cadrul sistemului.

Am încercat să examinăm problemele implicate, legându-le de proiectarea sistemului și la problemele legate de operarea și controlul sistemului. Responsabilitatea conducerii producției este să ia decizii privind proiectarea, operarea și controlul într-un asemenea fel, încât bunul sau serviciul produs de către sistem să fie de calitatea specificată, să fie produs în cantitate și la termenele cerute și la un cost minim.

Sfera conducerii producției

Această carte a pus accentul pe problemele economice ale producției, care s-au aflat practic în fiecare capitol în centrul atenției. Există însă și alte feluri de probleme care apar în proiectarea și operarea sistemelor de producție. De exemplu, o problemă care apare ca parte a proiectării unui sistem este proiectarea cadrului organizațional. În operarea unui sistem de producție există probleme de personal și relativ umane, ca selecționarea, repartizarea, promovarea, transferul și concedierea. Există probleme sindicat-conducere. Conducătorul are și el probleme de relații umane. Faptul că nu am încercat să tratăm aceste probleme în prezentul volum nu le neagă nici existența, nici includerea lor într-un domeniu mai larg al conducerii producției. Asemenea probleme pot fi mai bine tratate într-un alt context.

Semnificația unor metode analitice recente

Poate că lucrul care mai mult decât orice altceva a zguduit conducerea tradițională a producției, atât în teorie, cât și în practică, este dezvoltarea rapidă din perioada postbelică a modelelor matematice și de

simulare a sistemelor și subsistemelor de producție, împreună cu tehnicile de prelucrare rapidă a datelor. Aceste progrese sînt preludiul recunoașterii unei noi științe aplicate. În multe domenii s-a impus o analiză formală. În multe cazuri în care înainte fiecare problemă era tratată separat, s-a trecut la o abordare într-adevăr sistemică. Simularea sistemului cu ajutorul calculatoarelor de mare viteză dă posibilitatea creării unui laborator pentru conducerea producției, care altminteri nu ar putea exista.

Care este importanța acestor instrumente pentru personal, în prezent și în viitor? Cei ce lucrează în economie și industrie, și nu cunosc aceste instrumente, trebuie să-și considere pregătirea incompletă. Pe măsură ce timpul trece, ei vor fi considerați din ce în ce mai „învechiți“, dacă nu vor încerca să dobîndească cunoștințele de bază privind noile metode și concepte. Se vor vedea depășiți înainte de sfîrșitul carierei lor și există chiar posibilitatea să fie trecuți pe „linie moartă“, în funcții mai puțin convenabile. Pentru cei tineri, care își desăvîrșesc acum pregătirea există o opțiune importantă. Se pregătesc de pe acum în mod corespunzător sau ocolesc problema pentru a fi confrunțați cu ea mai tîrziu? Este adevărat că nimeni nu poate dobîndi o pregătire completă pentru următorii 40 de ani, dar fiecare își poate asigura o pregătire de bază care îl va ajuta să evolueze în timp. Într-un domeniu care se dezvoltă rapid, important este să pornești în direcția corectă.

Cît de bună este judecata?

Oameni, în special cei cu posturi înalte, încearcă adesea să ignore faptul că devin învechiți pentru organizația din care fac parte, spunînd: „Sînt plătit pentru abilitatea de a judeca. Dacă am nevoie de „creiere“, le pot angaja“. Asta este foarte bine. Judecata economică va fi probabil întotdeauna un atu important. Dar ce valoare are judecata singură în situații complexe, justifică ea oare siguranța de sine atît de des exprimată? Evident, nu există un răspuns complet la această întrebare, dar avem unele indicații. S-au constituit probleme cerînd decizii care puteau fi luate prin judecată economică, dar care puteau fi de asemenea supuse unei analize formalizate pentru determinarea unui „răspuns corect“. Aceste probleme au fost date unor grupe de directori cărora li s-a cerut să ia deciziile care se impuneau, utilizînd orice metodă, la alegerea lor. Rezultatele au arătat că analiza formalizată a precumpănit față de judecată. Numai 10% din conducători au luat cea mai bună decizie posibilă și, lucru semnificativ, toți aceștia au elaborat soluția pe cale matematică. Intuiția, judecata corectă, toate s-au dovedit ineficiente. Ce înseamnă asta? Această problemă, deși complexă, nu prezenta complexitatea sistemelor moderne. Aceasta înseamnă că „judecata“ este departe de a duce la rezultate ideale în situații reale.

Cum putem trata argumentul celui care spune: „Dacă am nevoie de „creiere“, le angajez?“ În primul rînd el trebuie să știe cîte ceva despre noile tehnici și concepte pentru a putea aprecia unde poate utiliza „cre-

ierul" și unde riscă să-l irosească. Apoi, el trebuie să fie în măsură să aprecieze munca acestor „creiere" pe care le angajează. Dacă are de gând să accepte fără nici un comentariu orice îi spun aceștia, funcția sa devine incertă. În sfârșit, o persoană în această poziție nefericită va resimți probabil o anume nesiguranță, atât din punct de vedere economic, cât și psihologic. El trebuie să trăiască cu sine însuși !

O trecere finală în revistă

În toată această carte am arătat că cele mai multe probleme de producție implică o echilibrare a costurilor în vederea unei soluții optime. Invariabil, factorii de cost afectați de o anumită decizie, urmează căi diferite, astfel încât soluția cea mai bună nu presupune niciodată minimizarea unui factor de cost în detrimentul celorlalți. Aceasta înseamnă că trebuie să acceptăm că *vom produce* ceva rebuturi, *vom avea* unele comenzi întârziate, câteodată *vom avea* rupturi de stoc etc. Altminteri, vom controla prea strâns unii factori, dar nu vom opera într-un mod optimal.

Trebuie să ne amintim că multe din metodele cantitative pe care le-am studiat reprezentau mai mult decât simple tehnici de rezolvare a problemelor. Poate că funcția lor cea mai importantă a fost să ne ajute să înțelegem natura sistemului asupra căruia acționăm. De exemplu, teoria firelor de așteptare ne introduce în natura probabilistică a problemei fluxului. Dacă înțelegem ceva din această teorie, vom fi capabili să înțelegem corect alocarea personalului în activitățile în care sosirile unui articol de la prelucrare sînt aleatoare. Cînd înțelegem că un atelier care lucrează pe comenzi poate fi descris ca o rețea de fire de așteptare, putem reda mai în profunzime de ce unei comenzi îi trebuie un timp aparent atât de lung pentru a parcurge sistemul.

Programarea lineară este o metodă formalizată de alocare a unor resurse limitate unor solicitări competitive. Dar sînt multe tipuri de probleme de alocare care apar într-o întreprindere, dintre care cele mai multe s-ar putea să nu se preteze la o rezolvare formalizată. Cu toate acestea, structura problemelor și rezolvările formale au un grad de aplicabilitate la toate tipurile de probleme de alocare. Știm în orice caz că există probabil variante de soluții și că pot exista mai multe soluții care sînt aproape la fel de bune ca cele optime. Rezultatul este că ne dăm seama că dispunem de o considerabilă flexibilitate și acest fapt face mai ușoară acomodarea la varietatea de condiții care pot apare.

Așa cum am arătat mai înainte, nu a stat în intenția noastră tratarea unora dintre problemele de comportament uman, care apar în mod evident în sistemele de producție. Poate că este important totuși să subliniem faptul că analiza și modelele formalizate pot deseori să țină seama de problemele umane, chiar dacă „variabilele" umane nu intră direct în construcția modelului. Un bun exemplu este modelul pe calculator pentru amplasare, CRAFT, discutat în cap. 11. Un conducător poate să intuiască faptul că în noul plan de amplasare este important ca două grupe să nu

fie separate. Totuși, înainte de a trage concluzia că acesta ar trebui să fie răspunsul, să evaluăm această cerință. Poate rezulta că există o soluție excelentă, care satisface această restricție. Poate din contra, ca această restricție să coste foarte mult. Să facem deci analiza, în loc să specificăm condiții fără o analiză sau evaluare.

În sfârșit, cu cât abordarea pe care o facem este mai largă, cu atât este mai probabil să putem evita suboptimizarea. Astfel, am văzut că nu este corect să privim problema stocurilor în mod izolat, pentru că nivelul stocurilor este în parte dependent de fluctuațiile producției. Pe măsură ce crește nivelul de cunoaștere al conducerii producției, vom putea determina efectele interacțiunilor a multor altor variabile din sistem și vom fi în stare să avem o adevărată viziune sistemică.

Bibliografie

- [1] AMA Management Report No. 10. *Operations Research Reconsidered*. American Management Association Inc., New York, 1958.
- [2] Boulden, J. B., E. S. Buffa. "The Strategy of Interdependent Decisions", *California Management Review*, I (4), 94—98, 1959.
- [3] Hovey, R. W., H. M. Wagner. "A Sample Survey of Industrial Operations Research Activities". *Operations Research*, 6 (6), 876—881, Nov.-Dec. 1958.
- [4] Schumacher, C. C., B. E. Smith. "A Sample Survey of Industrial Operations Research Activities, II." *Operations Research*, 13 (6), 1023—1027, Dec. 1965.
- [5] Starr, M. K. "Evolving Concepts in Production Management". In: *Evolving Concepts in Management*, E. Flippo, editor, Academy of Management Proceedings, 24th Annual Meeting, Dec. 1964.

Metode distributive ale programării liniare

Programarea liniară este o tehnică matematică nouă, dezvoltată aproximativ în timpul celui de-al II-lea război mondial. Valoarea sa pentru conducerea producției constă în faptul că adesea permite rezolvarea problemelor de alocare de mare complexitate, implicând un număr mare de variabile. Înainte de apariția programării liniare, aceste tipuri de probleme puteau fi abordate numai prin modele grafice și scheme. Munca de găsim a soluțiilor se desfășura pe baza încercărilor succesive și nimeni nu putea fi sigur că a fost obținută soluția cea mai bună. Despre ce tipuri de probleme discutăm ?

Să începem cu un exemplu ilustrativ, un exemplu care, datorită simplității sale nu cere pentru soluționare programarea liniară.

Exemplu :

Să presupunem că transportăm piese și materiale dintr-un loc în altul în fabrica noastră cu ajutorul unor cărucioare transportoare și palete. Piese și materialele sunt încărcate pe palete. Apoi un cărucior poate ridica o încărcătură într-un timp minim prin introducerea sa sub paletă și ridicarea de la podea. Apoi paleta poate fi transportată la destinație și descărcată la fel de repede cum a fost încărcată (Vezi Fig. A.1.) Sîntem interesați în redistribuirea, cu cel mai scăzut cost a paletelor goale la locurile unde sînt necesare. În secția A avem 16 palete goale și în secția B 20. Se întîmplă ca secția C să aibă nevoie de 20 și secția D de 16. Paletelor goale pot fi transportate cîte două deodată cu un cărucior, astfel încît de fapt avem disponibile 8 încărcături în A și 10 în B. Avem nevoie de 10 încărcături la C și de 8 la D. Alegem ca măsură a eficienței distanța totală parcursă de minutorii cărucioarelor pentru a redistribui paletelor. Această măsură corespunde ideii de programare liniară ; adică 200 m sînt considerați a costa de două ori mai mult decît 100 m. Fiecare din cele 4 secții are un om desemnat pentru manipularea materialelor așa încît în fiecare caz paletelor goale sînt fie trimise de secțiile A și B, fie primite de secțiile C și D. Distanțele, disponibilitățile și cererile sînt reprezentate în fig. A.2.

Aici apare evident că procedura cea mai bună este de a muta 8 încărcături de la A la C și împărți cele 10 încărcături disponibile în B: 2 la C și 8 la D. Aceasta ne satisface cerințele și execută întreaga operație cu distanța minimă de 3 080 m. Toate celelalte combinații conduc la o distanță totală mai mare.

Putem vedea de ce analizând fig. A.2, soluția noastră cea mai bună sau optimă nu utilizează deloc ruta cea mai lungă AD (255 m). Dacă încercăm să folosim

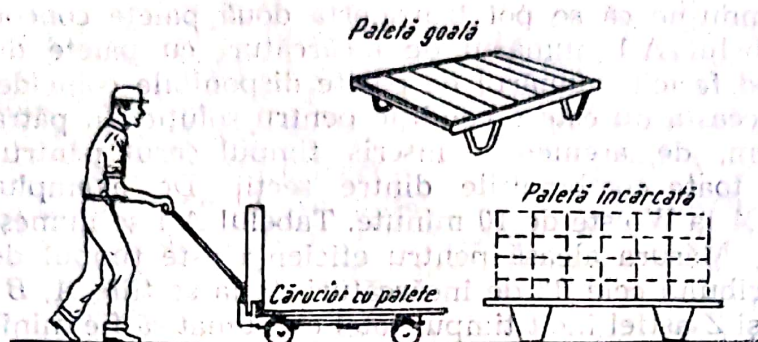


Fig. A.1. Cărucior cu palete.

această rută, trebuie să transferăm una sau mai multe încărcături de pe ruta AC (200 m) pe AD, ceea ce ne-ar costa un plus de 25 m pentru fiecare încărcătură. Aceasta nu ne compensează transferarea unui număr echivalent de încărcături de pe ruta BD (150 m) pe BC (140 m). Deci, apare o creștere netă a distanței cu 15 m pentru fiecare încărcătură transportată pe ruta lungă AD.

Soluția pentru această problemă este evidentă, dar chiar pentru această situație simplă există nouă modalități diferite posibile pentru realizarea sarcinii de

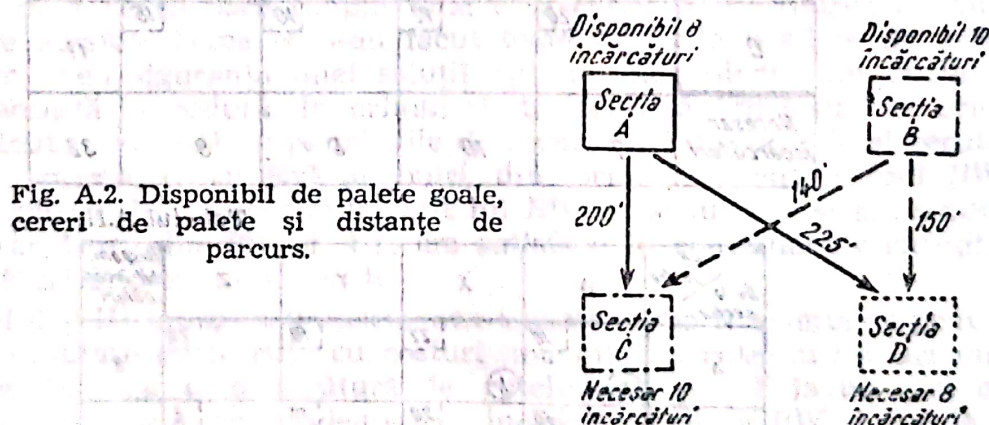


Fig. A.2. Disponibil de palete goale, cereri de palete și distanțe de parcurs.

transferare a paletelor goale. Dacă ne referim acum la o problemă de proporțiile la care ne putem aștepta în industrie (de exemplu 10 surse și 10 destinații sau mai multe) putem vedea că răspunsul nu mai este evident. Numărul de alternative posibile pentru realizarea sarcinii de redistribuție este atât de mare încât nu putem lua în considerare încercarea de a calcula exhaustiv costurile fiecărei alternative cu scopul de a găsi varianta de cost optimă sau minimă.

Metodele distributive ale programării liniare asigură un mod de obținere a soluției optime.

Metode distributive

Să extindem problema noastră de redistribuire* a paletelor goale. Presupunem că avem trei secții A, B și C în care există un surplus de palete peste necesitățile și patru secții care au nevoie de palete, W, X, Y și Z.

Reamintindu-ne că se pot transporta două palete concomitent, vom înscrie în tabelul A.1 numărul de încărcături cu palete disponibile și cerute. În mod fericit, numărul de palete disponibile coincide cu al celor cerute, deși aceasta nu este o condiție pentru soluție. În pătrățelele tabelului A.1 avem, de asemenea, înscris timpul cerut pentru a parcurge drumul între toate combinațiile dintre secții. De exemplu, timpul de parcurs de la A la W este de 10 minute. Tabelul A.1 se numește o matrice de distribuție. Măsura aleasă pentru eficiență este timpul de parcurs și dorim să distribuim cele 32 de încărcături de la secțiile A, B și C la secțiile W, X, Y și Z astfel încât timpul total consumat să fie minim, în cadrul restricțiilor impuse de încărcăturile disponibile și cerute.

Tabelul A.I.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil încărcături
A	10	22	10	20	8
B	15	20	12	8	13
C	20	12	10	15	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

Tabelul A.II.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil încărcături
A	10 (7)	22 (1)	10	20	8
B	15	20 (9)	12 (4)	8	13
C	20	12	10 (2)	15 (9)	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

* Problema este mai cunoscută în literatură sub numele de problemă de transport.

O soluție inițială

Să începem prin atribuirea de diferite încărcături, în mod arbitrar, ignorând valorile timpului. Începem din colțul din stînga sau al matricii (așa numitul colț nord-vest) și observăm că A are 8 încărcături disponibile și W are nevoie de 7. Atribuim pe cele 7 de la A lui W (vezi Tabel A.II). Numerele încercuite reprezintă încărcături atribuite. De exemplu 7 în căsuța AW înseamnă 7 încărcături de la A la W . Nu am epuizat încă disponibilul lui A , așa încît ne mutăm spre dreapta sub coloana X și atribuim diferența disponibilă în A , de o încărcătură, lui X . Privind în josul coloanei X observăm că aceasta are o cerere totală de 10, așa încît coborîm pe rîndul B și atribuim diferența necesarului lui X de 9 încărcături din disponibilul lui B , de 13. Ne mutăm din nou spre dreapta și atribuim diferența disponibilului lui B de 4 încărcături lui Y . Continuăm în acest fel, coborînd matricea în trepte pînă cînd s-au făcut toate atribuirile arbitrare, ca în tabelul A.II. Timpul total cerut pentru această soluție, 475 minute este calculat în tabelul A.II, sub matrice. Metoda generală de rezolvare, pe care o vom descrie, este numită metoda în trepte*. Careurile care au atribuire sînt deseori numite careuri de piatră și cele fără atribuire, careuri de apă. Noi ne vom referi la ele simplu, careuri cu atribuire și careuri fără atribuire sau careuri deschise.

Îmbunătățirea soluției inițiale

Este soluția inițială a colțului de nord-vest cea mai bună? Putem răspunde la aceasta prin examinarea succesivă a careurilor fără atribuire pentru a vedea dacă timpul total este redus prin mutarea atribuirilor către acestea. După ce s-au făcut toate mutările posibile de acest fel, putem avea siguranța unei soluții optime. Să vedem cum poate fi aplicată această procedură. În primul rînd, dorim să fim siguri că orice mutare făcută concordă cu restricțiile de încărcături disponibile și cerute. Să alegem primul careu fără atribuire din prima coloană, careul BW . Dacă am aduna cîte o încărcătură atît lui BW cît și lui AX și am scădea cîte o încărcătură din BW și AX , am satisface în continuare restricțiile de încărcături disponibile și cerute.

Tabelul A.III arată că un asemenea transfer n-ar fi avantajos pentru că ar fi o mutare de la rute cu costuri mai mici la rute cu costuri mai mari. Am adăuga o încărcătură la rutele BW și AX la un cost de $15 + 22 = 37$ minute și am scădea cîte o încărcătură de la BW și AX la o economie de $10 + 20 = 30$ minute, adică o creștere netă de $37 - 30 = 7$ minute pe încărcătură.

Fiecare careu fără atribuire poate fi analizat pentru îmbunătățire într-un mod similar. Dar modelul nu este totdeauna rectangular. În tabelul A.IV se prezintă modelul cerut pentru evaluarea careului CW în

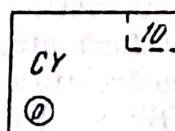
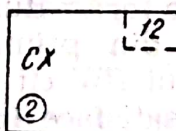
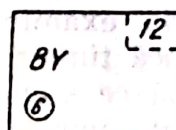
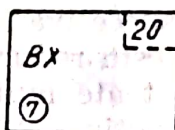
* Metoda de rezolvare în trepte este atribuită profesorilor W. W. Cooper și A. Charnes.

vederea unei posibile îmbunătățiri. Ceea ce se impune este un drum închis începînd de la careul care este evaluat, cu cotituri în unghi drept numai la careurile care au deja atribuire, mergînd fie în sensul acelor de ceasornic, fie în sens contrar. Careurile pot fi sărite pentru a ajunge la colțuri, cum se arată în tabelul A.IV. Nu sînt permise mișcări diagonale.

Tabelul A.III.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil încărcături
A	(-) ⑦	① (+)			8
B	(+) ⑧	⑨ (-)	④		13
C			②	③	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

La careul care este analizat, marcăm un semn „plus“. Deoarece ne propunem să adăugăm o încărcătură, continuînd alternativ cu semne minus și plus pe măsură ce înaintăm prin drumul închis. Dacă soluția inițială arbitrară a fost stabilită corect, în mod normal este necesar numai un singur drum închis pentru evaluarea unui anumit careu deschis.



Conform tabelului A.IV nu este avantajos să facem nici o mutare la careul CW. Astfel încît continuăm să evaluăm careul sistematic careurile neatribuite din coloana X. Careul CX este singurul careu deschis în coloana X care trebuie evaluat în acest moment, ceea ce se face folosind aceeași procedură, cu tabelul A.V. Aici vedem că este avantajos să facem o mutare întrucît pentru fiecare încărcătură transferată la CX și BY de la BX și CY este o scădere netă de 6 minute a timpului de parcurs. Odată ce am găsit o mutare avantajoasă, dorim să obținem avantajul maxim prin creșterea atribuirii lui CX la maximum. Mutarea atribuirilor este limitată la două încărcături, pentru că la CY există o atribuire, și nu o putem reduce sub zero. Ca urmare, îmbunătățirea maximă pe care o putem aduce soluției la CX este de 2 încărcături la un timp economisit

de 6 minute pe încărcătură, deci 12 minute. Noul timp total este acum redus la 463 minute. Facem schimbările corespunzătoare în atribuiri, pentru cele 4 careuri afectate rezultând noile atribuiri.

Tabelul A.IV.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponi- bil încăr- cături
A	(-) 7 10	(+) 1 22	10	20	8
B	15	(-) 9 20	(+) 4 12	8	13
C	20	12	(-) 2 10	9 15	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

Continuăm sistematic în acest mod evaluând fiecare careu deschis din tabel și făcând mutările în atribuiri atunci când acestea sînt avantajoase. Desigur, putem observa că unele careuri care înainte nu indicau

Tabelul A.V.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponi- bil încăr- cături
A	7 10	1 22	10	20	8
B	15	(-) 9 20	(+) 4 12	8	13
C	20	(+) 2 12	(-) 2 10	9 15	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

posibilități de îmbunătățire pot prezenta aceste posibilități mai tîrziu, datorită schimbărilor intervenite. Acest proces e continuat pînă cînd toate careurile deschise nu mai indică nici o posibilitate de îmbunătățire.

Soluția optimă

În acest punct s-a obținut „soluție optimă”, din tabelul A.VI, timpul total cerut de aceste soluții este de 330 minute cu aproape 30% mai mic decît cel al soluției inițiale a colțului de nord-vest. Această reducere a tim-



pului total s-a obținut prin evaluarea coloană cu coloană, a 13 careuri deschise, din care 6 au permis îmbunătățiri. La prima parcurgere a tabelului, nu s-au obținut îmbunătățiri din BW , CW și CY , dar careurile CX , AY și AZ și respectiv BZ au permis îmbunătățiri. La a doua parcurgere a tabelului BW , CW , AX și BX nu au permis îmbunătățiri, dar AY și CY au permis. În acest moment, soluția este optimă pentru o reevaluare a tuturor careurilor fără atribuire nu arată nici o viitoare îmbunătățire posibilă.

Această procedură este greoaie, chiar pentru o problemă de dimensiuni reduse, dar trebuie să amintim că acest tip de operații iterative se pretează foarte bine la prelucrarea pe calculator. Deci, interesul în rezol-

Tabelul A.VI.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil în încărcături
A	$\begin{matrix} 10 \\ 7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 22 \\ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10 \\ 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 20 \\ \end{matrix}$	8
B	$\begin{matrix} 15 \\ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 20 \\ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12 \\ 4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8 \\ 9 \end{matrix}$	13
C	$\begin{matrix} 20 \\ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12 \\ 10 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10 \\ 1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15 \\ \end{matrix}$	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

varea problemelor prin metodele descrise trebuie să se concentreze în înțelegerea modului de lucru și nu în încercarea de a deprinde metoda în sine. Trebuie, de asemenea, să subliniem că soluția inițială a colțului de nord-vest, pe care am utilizat-o pentru a explica această metodă, nu este cel mai bun mod de a începe rezolvarea, deși este probabil modalitatea cea mai ușoară. În bibliografie pot fi găsite căi îmbunătățite de stabilire a soluțiilor inițiale.

Degenerarea în probleme de distribuție

Un alt aspect al modalităților de obținere a unei soluții pe care trebuie să-l menționăm este condiția cunoscută sub numele de degenerare. Degenerarea apare în problemele de distribuție când schimbând atribuirile pentru a beneficia de o îmbunătățire potențială două dintre atribuirile existente dând spre zero, în loc de una singură, cum a fost cazul în exemplul precedent. Examinarea problemei din tabelul A.VII (care e foarte puțin diferit de exemplul pe care am lucrat) arată că aceasta se poate întâmpla.

Este vorba de o problemă obișnuită și s-a stabilit o soluție inițială prin metoda colțului de nord-vest. Careurile deschise au fost evaluate coloană cu coloană în modul obișnuit și s-au făcut mutări de atribuire când ele au indicat o îmbunătățire potențială. În tabelul A.VII am evaluat careul BZ prin metoda descrisă a drumului închis. Se indică o îmbunătățire potențială, deoarece mutînd o unitate se economisesc 15 minute.

Tabelul A.VII.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil încărcături
A	10 (5)	22	10	20 (3)	8
B	15	20 (5) (-)	12 (8)	8 (+) (-)	13
C	20	12 (6) (+)	10	15 (5) (-)	11
Necesar încărcături	5	11	8	8	32

Dorim să împingem acest avantaj la maximum prin mutarea tuturor încărcăturilor posibile și sîntem limitați de ambele careuri BX și CZ, fiecare avînd atribuite cîte 5 încărcături. Cînd se face mutarea atribuirilor atît BX cît și CZ tind către 0. Acesta rezultă în matricea de distribuție pre-

Tabelul A.VIII.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponibil încărcături
A	10 (5)	22	10	20 (3)	8
B	15	20	12 (8)	8 (5)	13
C	20	12 (11)	10	15 (0)	11
Necesar încărcături	5	11	8	8	32

zentată în tabelul A.VIII. Mai multe careuri deschise, CW, AX BX, CY și CZ nu pot fi evaluate pentru că nu se poate stabili pentru ele un drum închis.

Degenerarea poate fi rezolvată prin considerarea unuia din cele două careuri în care atribuiri au dispărut ca un careu alocare zero, așa cum apare în tabelul A.IX. Careul cu alocare zero este apoi utilizat pentru completarea drumurilor în mod obișnuit. Dacă în manipulările urmă-

Tabelul A.IX.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponi- bil încărcături
A	10 (5)	22	10	20 (3)	8
B	15	20	12 (8) (-)	8 (5) (+)	13
C	20	12 (11)	10 (0) (+)	15 (0) (-)	11
Necesar încărcături	5	11	8	8	32

toare se întâmplă ca acest careu cu alocare zero să fie cel care limitează mutările în atribuiri, alocarea zero este mutată în careul evaluat și se continuă apoi procedura normală (vezi tabelul A.X). Când este evaluat

Tabelul A.X.

La secția De la secția	W	X	Y	Z	Disponi- bil încărcături
A	10 (5)	22	10	20 (3)	8
B	15	20	12 (8)	8 (5)	13
C	20	12 (11)	10	15	11
Necesar încărcături	5	11	8	8	32

careul CY se indică îmbunătățirea potențială, dar nu se poate face nici o mutare în atribuirea curentă datorită limitării cauzate de alocarea zero. Alocarea zero este deci mutată la CY și procedura se continuă până la obținerea unei soluții optime.

Disponibil și cerere neegale

Vom ridica acum problema rezolvării unei situații în care disponibilul și cererea sînt neegale. Să presupunem că în problema noastră totalul încărcăturilor disponibile din cele trei sectoare este 37, dar cele patru secții anunță un necesar pentru un total de numai 32. Această situație poate fi controlată în problemă prin crearea unei secții fictive care să primească diferența de 5 încărcături. Secției inexistente i se atribuie un timp de parcurs zero, deoarece încărcăturile nu vor fi niciodată trimise. Soluția optimă atribuie deci 32 din cele 37 de încărcături disponibile în modul cel mai economic celor 4 secții reale și atribuie diferența secției fictive.

Metoda de distribuție modificată (Modi)

Metoda de programare liniară MODI oferă un mijloc mai eficient de evaluare a careurilor deschise astfel încît careurile care oferă cele mai substanțiale îmbunătățiri pot fi selectate direct la fiecare pas al soluției. În rest, metoda este aproape similară cu cele descrise mai sus.

Diferența principală constă în aceea că metoda MODI alege acel careu deschis care va oferi cea mai mare îmbunătățire cu ajutorul unui grup de indici calculați pe rînduri și coloane. Se fac apoi mutările cu alocare pentru careul respectiv. După aceasta, indicii revizuiți indică următorul careu deschis ales, etc. Indicii sînt notați cu R pentru indicii de rînd și K pentru cei de coloană.

Calculul valorilor pentru R și K

În metoda MODI soluția de început este soluția colțului nord-vest sau alta soluție posibilă ca și înainte. Se calculează un număr pentru fiecare rînd și coloană. Aceste numere, împreună cu „costurile” asociate fiecărui careu sînt utilizate pentru evaluarea „careurilor deschise”. Vom nota cu R și K numerele reprezentînd rîndul și coloana și vom folosi indici pentru identificarea rîndurilor și coloanelor, adică R_A este numărul rîndului pentru rîndul A , etc. Costurile asociate fiecărui careu (timpul de parcurs, în exemplul de redistribuire a paletelor) le notăm cu C ; deci C_{AX} este costul timpului de parcurs pentru careul AX . Apoi pentru un careu cu atribuiri și numai pentru careurile cu atribuiri, stabilim următoarea formulă :

$$R + K + C = 0$$

Începem din nou cu exemplul colțului de nord-vest și presupunem că $R_A = 0$. Începînd astfel, pentru careul AW , putem calcula K_W după cum urmează :

$$K_W = -R_A - C_{AW} = 0 - 10 = -10.$$

Știind că $R_A = 0$ putem calcula pe K_x

$$K_x = -R_A - C_{Ax} = 0 - 22 = -22.$$

Avind pe K_x , putem calcula R_B pentru careul B_x . Astfel :

$$R_B = -K_x - C_{Bx} = -(-22) - 20 = +2,$$

Tabelul A.XI.

La De la secția secția	$K_W = -10$	$K_x = -22$	$K_y = -14$	$K_z = -19$	Disponi- bil încă- rături
$R_A = 0$	10 ⑦	22 ①	10 ①	20 ①	8
$R_B = 2$	15 ③	20 ⑨	12 ④	8 ③	13
$R_C = 4$	20 ②	12 ②	10 ⑨	15 ⑨	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

Continuind careurile cu atribuiri în acest fel, putem calcula balanța valorilor lui R și K astfel :

$$K_y = -R_B - C_{By} = -2 - 12 = -14$$

$$R_C = -K_y - C_{Cy} = -(-14) - 10 = 4$$

$$K_z = -R_C - C_{Cz} = -4 - 15 = -19.$$

Aceste valori sînt introduse ca titluri ale rîndurilor și coloanelor (tabelul A.XI). Matricea de distribuție de bază și soluția inițială sînt desigur aceleași ca în tabelul A.II.

Evaluarea prin MODI a careurilor deschise

Careurile deschise (cele fără atribuiri) sînt evaluate prin adunarea algebrică a valorilor lui R , K și C , corespunzătoare acestora. Aceste coloane, pentru toate careurile deschise ale exemplului nostru din tabelul A.XI, apar dedesubtul matricii. Careurile care au numere negative ele, în conformitate cu modelele drumului închis utilizate anterior. Careul care are numărul negativ cel mai mare va duce la îmbunătățirea cea mai substanțială și vom alege acest careu pentru a efectua mutările cu atribuiri. În tabelul A.XI cel mai mare număr negativ este -9 , pentru careul BZ . Vom face modificările în atribuire la nivelul maxim posibil în concordanță cu drumul său închis, cum am făcut în procedura pre-

cedentă. Aceste schimbări sînt prezentate în matricea din tabelul A.XII. Odată cu atribuirile se vor schimba și unele valori ale lui R și K . Tabelul A.XII prezintă, de asemenea, noile valori ale lui R și K , bazate pe

Tabelul A.XII.

La secția De la secția	$K_W = -10$	$K_X = -22$	$K_Y = -5$	$K_Z = -10$	Disponibil încărcături
$R_A = 0$	(7)	(1)			8
$R_B = 2$		(9)	(-)	(+)	13
$R_C = -5$			(+)	(-)	11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

careurile cu atribuiți în noua matrice. Careurile deschise sînt apoi evaluate cu noile valori R , K și C scrise dedesubtul matricei. Din nou, numărul negativ cel mai mare indică acel careu deschis care va duce la îmbunătățirea maximă. În acest exemplu, este, desigur, careul CX .

Soluția optimă pentru MODI

Această procedură este continuată pînă cînd se obține o matrice de atribuiți în care pentru toate careurile deschise valorile R , K și C reprezintă numerele pozitive.

Tabelul A.XIII prezintă soluția optimă obținută anterior precum și valorile lui R și K și evaluările careurilor deschise.

Tabelul A.XIII.

La secția De la secția	$K_W = -10$	$K_X = -12$	$K_Y = -10$	$K_Z = -6$	Disponibil încărcături
$R_A = 0$	(7)		(1)		8
$R_B = -2$			(4)	(9)	13
$R_C = 0$		(10)	(1)		11
Necesar încărcături	7	10	6	9	32

Formularea matematică a modelelor de distribuție

Este momentul să stabilim o formulă matematică a problemei noastre de transport. Dorim să exprimăm prin simboluri matematice următoarele trei enunțuri în cuvinte.

1) Suma încărcăturilor trimise către secțiile W, X, Y și Z este egală cu cantitatea disponibilă pentru fiecare din secțiile furnizoare. De exemplu, pentru secția A spunem că suma încărcăturilor trimise către W, X, Y și Z este egală cu 8. Vom avea trei ecuații ca aceasta, una pentru A, una pentru B și una pentru C.

2) Suma încărcăturilor primite de la secțiile A, B, și C este egală cu cantitatea cerută pentru fiecare din secțiile primitoare. De exemplu, pentru secția W spunem că suma încărcăturilor primite de la A, B și C este egală cu 7. Vom avea patru ecuații ca aceasta, câte una pentru W, X, Y, și Z.

3) Obiectivul nostru este minimizarea sumei produselor încărcăturilor cu timpul de parcurs pentru toate rutele. Vom avea o singură ecuație.

Pentru a transcrie aceste idei într-o formă matematică să notăm încărcăturile atribuite cu X. Indicii vor arăta la care x ne referim. Iată care vor fi primele trei ecuații care indică alocarea cantităților disponibile pentru A, B și respectiv C :

$$x_{AW} + x_{AX} + x_{AY} + x_{AZ} = 8 \quad (1)$$

$$x_{BW} + x_{BX} + x_{BY} + x_{BZ} = 13 \quad (2)$$

$$x_{CW} + x_{CX} + x_{CY} + x_{CZ} = 11. \quad (3)$$

Cele patru ecuații care identifică sursele încărcăturilor primite de către W, X, Y, Z sînt :

$$x_{AW} + x_{BW} + x_{CW} = 7 \quad (4)$$

$$x_{AX} + x_{BX} + x_{CX} = 10 \quad (5)$$

$$x_{AY} + x_{BY} + x_{CY} = 6 \quad (6)$$

$$x_{AZ} + x_{BZ} + x_{CZ} = 9. \quad (7)$$

În sfârșit, funcția obiectiv este :

$$10x_{AW} + 15x_{BW} + 20x_{CW} + 22x_{AX} + 20x_{BX} + 12x_{CX} + 10x_{AY} + \\ + 12x_{BY} + 10x_{CY} + 20x_{AZ} + 8x_{BZ} + 15x_{CZ} = \text{minim.} \quad (8)$$

Primele 7 ecuații reprezintă modelul nostru. A opta formulează obiectivul. Metoda de rezolvare este programarea liniară și soluția efectivă este reprezentată de matricea de atribuiți optime din tabelul A.VI sau tabelul A.XIII.

Zerouri în matrice

Observăm că în soluția optimă, reprezentată în tabelul A.VI sau A.XIII sînt numai șase rute care se termină cu atribuiți. Deci, sînt altele șase pentru care x -urile sînt zero. Aceasta nu reprezintă un accident. În general este adevărat că dacă avem o problemă cu m surse și n destinații (o matrice $m \times n$) atunci cel mult $m+n-1$ rute vor avea o valoare pozitivă a lui x . În cazul nostru vor fi cel puțin $(12-(3+4-1))=6$ zerouri. Aceasta este o proprietate fundamentală a programării liniare.

Să vedem acum dacă cunoașterea numărului de zerouri în matrice ne poate ajuta să înțelegem ceva despre programarea liniară. Să ne amintim că algebra elementară ne învață că pot fi rezolvate simultan două ecuații independente cu două necunoscute.

În cazul nostru avem 12 necunoscute și numai 7 ecuații plus o funcție obiectiv, dar știm că cel puțin 6 dintre necunoscute sînt zero, așa încît de fapt avem o ecuație în plus față de cîte ne trebuie. De fapt, ce am făcut pentru a rezolva problema a fost să începem cu o soluție arbitrară în care presupunem că 6 dintre x -uri erau zero. Celelalte 6 x -uri aveau atribuite valori corespunzătoare încărcăturilor disponibile și cerute. Am trecut apoi la îmbunătățirea sistematică a soluției noastre, care a presupus schimbarea de mai multe ori a numărului de x -uri care ar trebui să fie zero. Am fi putut adopta o modalitate de rezolvare în pași masivi, calculînd de fiecare dată timpul total corespunzător soluției. Pentru a face aceasta ar fi trebuit să luăm toate combinațiile de atribuiți zero, să rezolvăm pentru x -ii rămași pentru a le determina valoarea și în sfârșit să calculăm timpul total cerut prin funcția obiectiv. Am fi putut obține soluția aplicînd această metodă dar n-am fi putut fi siguri că este cea optimă decît după ce am fi încercat toate combinațiile posibile o sarcină imposibil de realizat pentru o problemă practică.

Programarea liniară ne duce la soluția optimă, dîndu-ne posibilitatea să verificăm cînd o avem, astfel încît ne scutește de un efort suplimentar.

Programarea liniară determină care dintre variabile sînt zero și dă valoarea acelor care nu sînt zero, pentru soluția optimă. Dacă cineva ne-ar fi spus cu care dintre x -ii egali cu zero să începem problema noastră ar fi fost foarte simplă. Să arătăm că aceasta este adevărat.

Din tabelul A.VI sau A.XIII putem vedea unde sînt zerouri pentru soluția optimă. Acestea sînt :

X_{BW} , X_{CW} , X_{AX} , X_{AZ} și X_{CX} . Dacă substituim valoarea lui zero pentru fiecare din aceste 6 variabile în primele șapte ecuații avem :

$$x_{AW} + x_{AX}^0 + x_{AY} + x_{AZ}^0 = 8 \quad (1a)$$

$$x_{BW}^0 + x_{BX}^0 + x_{BY} + x_{BZ} = 13 \quad (2a)$$

$$x_{CW}^0 + x_{CX} + x_{CY} + x_{CZ}^0 = 11 \quad (3a)$$

$$x_{AW}^0 + x_{BW}^0 + x_{CW}^0 = 7 \quad (4a)$$

$$x_{AX}^0 + x_{BX}^0 + x_{CX} = 10 \quad (5a)$$

$$x_{AY} + x_{BY} = x_{CY} = 6 \quad (6a)$$

$$x_{AZ}^0 + x_{BZ} = x_{CZ}^0 = 9 \quad (7a)$$

Pentru aceasta putem obține direct faptul că : $x_{AW} = 7$ (din 4a), $x_{CX} = 10$ (din 5a), și $x_{BX} = 9$ (din 7a). Apoi din 1a știm că $x_{AY} = 1$ deoarece $x_{AW} = 7$. În fine, din 3a știm că $x_{CY} = 1$, deoarece $x_{CX} = 10$. Încă nu am utilizat ecuația 6 deși avem toate valorile necunoscute. Putem face cu ea o verificare a unora dintre valorile noastre și vom găsi că $x_{AY} + x_{BY} + x_{CY}$ este într-adevăr egal cu 6. Desigur, aceste valori se verifică și cu valorile obținute anterior și înscrise în matricea optimă.

Observăm că metodele de distribuire ale programării lineare aduc o importantă contribuție la rezolvarea practică a acestor tipuri de probleme. Dacă nu ar exista programarea lineară am ghici numai soluțiile, găsind poate din cînd în cînd o soluție mai bună bazată pe o anume intuiție.

Dar abordarea prin încercări succesive pentru obținerea soluției optime ar fi nepractică sau chiar imposibilă pentru probleme de amplasarea celor întîlnite în practică economică și industrială.

Utilizări ale metodelor distributive

Problemele generale ale relației fabrici-depozite, depozite-unități de desfacere, etc. reprezintă o arie importantă de utilizare a programării lineare. Aceasta devine evident în situațiile cu mai multe uzine unde costurile de expediție către diverse unități de desfacere sau depozite sînt diferite. Este ușor de observat paralela între această situație și exem-

plul de alocare a paletelor goale pe care l-am folosit. Fabricile au capacitatea de producție disponibilă și depozitele sau unitățile de desfacere au cereri pentru produse.

Este necesară o soluție pentru un cost minim de expediere.

Limitele problemei pot fi extinse. Costul de producție la diferite fabrici poate varia datorită diferențelor de salarii, costuri de materie primă, etc. Putem, deci determina o alocare care minimizează suma costurilor de producție și expediere în limita cererilor de produse la diferitele depozite. Aceasta elimină posibilitatea adoptării unei decizii care ar conduce la suboptimizare dacă cele două decizii se iau separat; adică un anumit grafic de expediții ar putea reflecta un cost minim luat separat, dar să nu fie minim față de situația când producția și livrările sînt analizate împreună.

Există și o altă categorie largă de probleme care pot fi evaluate în același concept general. Să presupunem că una dintre fabrici produce la un cost ridicat. Care este efectul asupra costului combinat de producție, plus expediere al închiderii acestei fabrici și aprovizionării numai de la celelalte, sau al aprovizionării de la celelalte cu efectuarea de ore suplimentare de sau schimburi suplimentare, sau al construirii unei noi fabrici cu o amplasare avantajoasă? Pot fi evaluate de asemenea, diferite variante de amplasare. Același gen de probleme pot fi analizate cu privire la depozite.

În interiorul unei anumite fabrici, există probleme de transport la care se pot utiliza cu eficiență metodele programării lineare; alocarea comenzilor pe mașini alternate avînd costuri de producție diferite poate fi formulată într-un mod similar.

Întrebări recapitulative

- 1) Care este caracteristica generală a problemelor care pot fi abordate folosind programarea lineară?
- 2) Cum știm, în problemele distributive, dacă o mutare a atribuirilor este sau nu avantajoasă? Cum știm cînd s-a obținut o soluție optimă?
- 3) Este posibil să avem mai mult decît o alocare optimă? Ce semnificație practică are aceasta?
- 4) Cum ar afecta o funcție obiectiv legată mai curînd de beneficiu decît de costuri procedurile practice de rezolvare a problemelor tip de alocare?
- 5) Care este semnificația degenerării în problemele distributive și cum poate fi ea rezolvată astfel încît să putem continua rezolvarea?
- 6) S-ar putea ca în problemele practice disponibilul și cererea să nu fie egale. Cum se poate rezolva aceasta în matricea de distribuție?

PROBLEME

1) O firmă are patru fabrici de la care face expediere la patru depozite reprezentând puncte de distribuire. Costurile de producție și capacitățile în fiecare din cele patru fabrici sînt :

Cost pe sută, Dolari		Capacitate, sute
F_1	40	140
F_2	43	260
F_3	39	360
F_4	45	220

Cererile pentru produse în fiecare din cele patru puncte de distribuție sînt :

Cerere, sute	
W_1	180
W_2	280
W_3	150
W_4	200

Costurile de transport în dolari pe sută, între diferitele combinații de factori și magazine sînt :

	W_1	W_2	W_3	W_4
F_1	48	60	56	58
F_2	47	57	53	59
F_3	59	63	61	63
F_4	51	63	55	61

Care este alocarea capacității la cerere care minimizează costurile combinate de producție și distribuție ?

2) Formulați modelul matematic al problemei 1. Cîte ecuații vor rezulta ? Cîte variabile avem ?

3) O firmă cu fabrici la A, B, C și D aprovizionează niște depozite la E, F, G și H. Capacitățile lunare ale fabricilor sînt 100, 80, 120 și respectiv 90, pentru o producție regulată. Dacă se utilizează ore suplimentare capacitățile pot fi crescute la 120, 110, 160 și respectiv 140. Costurile unitare suplimentare cu orele suplimentare sînt 5, 2, 3 și respectiv 4 dolari. Pentru producția regulată beneficiul realizat pe unitate este 14, 9 16 și, respectiv, 27 dolari. Cererile curente lunare ale depozitelor sînt 110, 70, 160 și respectiv 130. Costurile unitare de expediere sînt :

de la	La			
	E	F	G	H
A	3	4	5	7
B	2	9	6	8
C	4	3	8	5
D	6	5	4	6

Determinați distribuirea optimă pentru această firmă.

4) Sînteți coordonator al controlului producției la Compania Blackstone Rubler. Într-o dimineață la venirea la lucru găsiți pe birou următoarele informații privind paletele :

Secție	Palete disponibile
A	18
B	27
C	21
Palete necesare	
G	14
H	12
I	23
J	17

Timpul pentru transportul unei palete este :

De la A la G	13 minute
De la A la H	25 minute
De la A la I	12 minute
De la A la J	21 minute
De la B la G	18 minute
De la B la H	23 minute
De la B la I	14 minute
De la B la J	9 minute
De la C la G	23 minute
De la C la H	15 minute
De la C la I	12 minute
De la C la J	16 minute

(a) Care este planul optim de alocare pentru minimizarea timpului ?

(b) Care este planul cel mai prost pe care ați putea să-l elaborați ?

5) O firmă fabrică un produs în trei uzine : A (Henquerque), B (enton) Harbor și C(entro). Ea distribuie produsele din trei depozite principale amplasate la D(enver), E (Imira) și F(ort) Worth. Prețurile pe cele trei piețe principale variază, ca și costurile de producție pe cele trei uzine. Datele de mai jos sintetizează costurile de desfacere. Costurile de producție, prețurile, capacitățile și cererile.

Costuri de distribuire dolari/unitate

De la	Către		
	D	E	F
A	0,06	0,08	0,05
B	0,10	0,03	0,10
C	0,08	0,12	0,07

Capacități liniare și costuri de producție

Uzina	Capacitate lunară unități	Cost unitar mediu la capacitate	Cost unitar fix la capacitate	Costuri unitare variabile
A	2 000	0,30	0,10	0,20
B	2 500	0,36	0,08	0,28
C	1 800	0,42	0,12	0,30

**Cererea lunară și prețurile de vânzare
pe zone ale pieței**

Zona	Cererea	Preț \$ /unitate
D	1 600	0,45
E	2 400	0,42
F	200	0,40

Determinați planul optim de expediere.

6) O firmă cu uzine la A, B, C și D, face expediții la depozitele din E, F, G și H. Capacitățile uzinelor, cererile depozitelor și costul de expediere între diferite uzine și depozite sînt următoarele :

Capacitatea uzinei		Cereri depozite	
A	500	E	400
B	900	F	800
C	800	G	700
D	300	H	600

Costuri de expediere (pe unitate)			
A la E	10	B la E	11
A la F	14	B la F	18
A la G	9	B la G	16
A la H	6	B la H	7
C la E	8	D la E	15
C la F	4	D la F	13
C la G	12	D la G	17
C la H	5	D la H	20

Care este costul de expediere minim ?

7) O companie are fabrici la A, B, C care aprovizionează magazine la D, E, F și G. Capacitățile lunare ale fabricilor sînt 160, 150 și respectiv 190. Cererile lunare ale depozitelor sînt 80, 90, 110 și respectiv 160. Costul unitar de expediere se prezintă astfel :

De la	D	E	La F	G
A	42	48	38	37
B	40	49	52	51
C	39	38	40	43

Determinați costul minim de distribuire.

Bibliografie

- [1] Bowman, E. H., R. B. Fetter. *Analysis for Production and Operations Management* (III ed.). Richard D. Irwin, Homewood, Ill., 1967.
- [2] Buffa, E. S. *Operations Management : Problems and Models* (II ed.). John Wiley, New York, 1968.
- [3] Ferguson, R. O., L. F. Sargent. *Linear Programming*. McGraw-Hill, New York, 1958.
- [4] Henderson, A., R. Schlaifer. "Mathematical Programming" *Harvard Business Review*, May-June 1954.
- [5] Metzger, R. W. *Elementary Mathematical Programming*. John Wiley, New York, 1958.
- [6] Vazsonyi, A. *Scientific Programming in Business and Industry*. John Wiley, New York, 1958.

Metoda simplex* a programării liniare

Aria de aplicare a metodei simplex este mai largă decât a metodelor distributive. Probleme de tip distributiv pe care tocmai le-am discutat pot fi de asemenea rezolvate prin metoda simplex, dar cu un volum de muncă mai mare. Metoda simplex poate fi însă utilizată acolo unde metodele de distribuție nu mai sînt aplicabile. Vom prezenta un exemplu pentru utilizarea metodei simplex pentru a evidenția natura problemelor la care această metodă este aplicabilă.

Odată ce modelul unei probleme este stabilit, în conformitate cu metoda simplex, putem privi rezolvarea ca o procedură mai mult sau mai puțin mecanică, care nu are decât să urmeze cu precizie regulile de rezolvare. Mai târziu, vom prezenta în aceste anexe o descriere elementară a tehnicii de calcul a unei soluții simplex.

Interpretarea grafică a metodei simplex a programării liniare

Pentru probleme simple putem reprezenta grafic modul în care într-o problemă de programare liniară restricțiile limitează soluțiile posibile și care este folosită ca funcție obiectiv pentru alegerea soluției optime. Pentru a face aceasta, să presupunem o situație simplă, într-o uzină care produce mașini de spălat și uscătoare. Principalele secții de producție sînt secția ștanțare, secția motoare și transmisii și liniile de asamblare finală pentru spălătoare și uscătoare. Secția ștanțare fabrică un număr mare de piese metalice atât pentru spălătoare cît și pentru uscătoare. Capacitățile lunare ale secțiilor sînt :

Secția ștanțare	10 000 spălătoare sau 10 000 uscătoare			
Secția motoare și transmisii	16 000	„	7 000	„
Secția asamblare spălătoare	9 000	„	—	„
Secția asamblare uscătoare	—	„	5 000	„

* Metoda de rezolvare simplex este în general atribuită prof. George B. Dantzig.

Cu alte cuvinte, aceleași mijloace de producție sînt utilizate pentru ambele produse pentru ștanțare și motoare și transmisii. Secția ștanțare poate produce piese pentru 10 000 spălătoare sau 10 000 uscătoare pe lună ca și cantități combinate de spălătoare și uscătoare. Situația este similară la secția motoare și transmisii, dar liniile de asamblare finală sînt separate pentru cele două produse.

Contribuția la costurile fixe și beneficii (valoarea vânzărilor mai puțin costurile variabile) este de 90\$/spălător și 100\$/uscător. Dorim să cunoaștem cîte unități din fiecare produs să fabricăm, pentru a maximiza această contribuție, presupunînd că avem desfacerea asigurată.

Mai întîi să stabilim restricțiile problemei la fel ca înainte. Vom nota numărul de spălătoare cu x și numărul de uscătoare cu y . Restricțiile cele mai simple sînt cele impuse de cele două linii de asamblare finală. Ele indică faptul că numărul de spălătoare pe lună trebuie să fie mai mic sau egal cu 9 000 și numărul de uscătoare mai mic sau egal cu 5 000. Aceste restricții sînt trasate în fig. B.1, zonele hașurate indicînd acele părți realizabile pentru problemă, datorită limitărilor la capacitate a liniilor de asamblare. Orice soluție a problemei trebuie să fie o combinație a unui număr de spălătoare și uscătoare care cade în aria $abcd$.

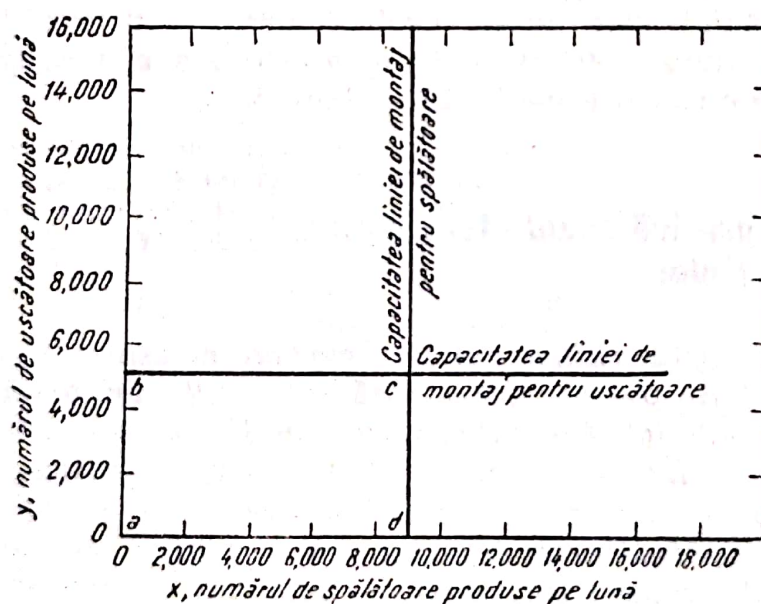


Fig. B.1. Ilustrarea grafică a limitărilor impuse de capacitatea liniei de montaj, numărului de spălătoare și uscătoare

Celelalte restricții ale problemei sînt numai foarte puțin diferite. Capacitatea secției ștanțare limitează producția lunară la 10 000 spălătoare sau 10 000 uscătoare sau orice combinație asemănătoare a producției de spălătoare și uscătoare. Combinații satisfăcătoare sînt 8 000 spălătoare și 2 000 uscătoare, 5 000 din fiecare, etc. Această restricție este prezentată în fig. B.2. ca o linie dreaptă care restrînge și mai mult spațiul soluțiilor

posibile. Figura B.2. prezintă de asemenea, limitările impuse de capacitățile secției motoare și transmisii, reprezentată prin altă linie dreaptă care trece prin cele două puncte $(x=0, y=7\ 000)$ și $(x=16\ 000, y=0)$. Combinațiile producției de spălătoare și uscătoare echivalente cad ca și înainte pe această dreaptă. De exemplu, 8 000 spălătoare : 3 500 uscătoare. Știm acum că explorarea noastră asupra producției combinate de spălătoare și uscătoare se limitează la aria *abefgd*. Toate celelalte combinații au fost eliminate de restricțiile enunțate ale problemei. Întrebarea care rămâne este : Ce combinație realizabilă va maximiza contribuția ?

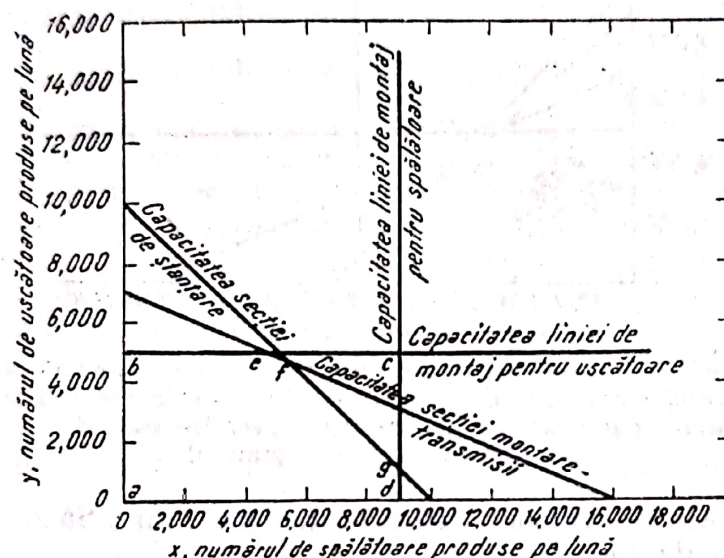


Fig. B-2. Capacitățile secțiilor ștanțare, motoare și transmisii. Aria închisă *abefgd* cuprinde toate soluțiile fizibile ale problemei.

Am arătat înainte că s-a realizat o contribuție la nivelul de 90 \$/spălător și 100 \$/uscător. Funcția noastră obiectiv va fi :

$$90x + 100y = \max.$$

Dorim să aflăm combinația numărului de spălătoare și uscătoare produse, care pe de o parte să fie realizabilă și pe de altă parte să maximizeze contribuția. Să alegem la întâmplare o anumită contribuție pentru a vedea cum arată grafic. La o contribuție totală de 450 000 \$, de exemplu, funcția obiectiv devine :

$$90x + 100y = 450\ 000$$

cînd :

$$x=0 \quad y=4\ 500$$

$$y=0 \quad x=5\ 000$$

Linia trecînd prin aceste două puncte este cea de 450 000 din fig. B.3. Această linie definește toate combinațiile producției de spălătoare și uscătoare care duc la o contribuție de 450 000 \$.

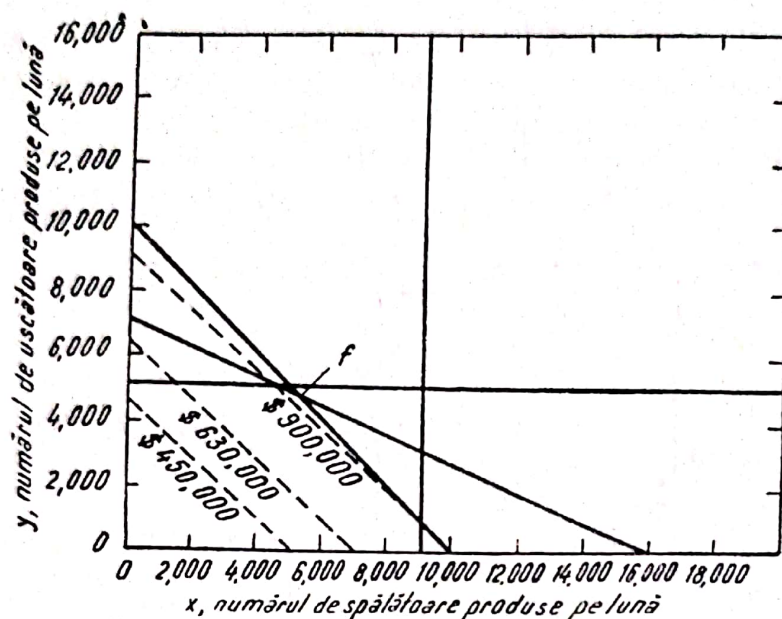


Fig. B.3. Dreptele cîștigului trasate pentru a indica efectul crescător. Cîștigurile apar ca linii paralele. Cîștigul maxim cuprins în aria soluțiilor permise este definit de o linie ce trece prin punctul f.

Să alegem acum o valoare a contribuției mai mare. Să zicem 630 000 \$. Funcția obiectiv devine :

$$90x + 100y = 630\,000$$

cînd

$$x = 0$$

$$y = 6\,300$$

$$y = 0$$

$$x = 7\,000$$

Linia trecînd prin aceste două puncte este de asemenea prezentată în fig. B.3. fiind cea de 630 000 \$, observați că ea este paralelă cu linia de 450 000 \$. Dacă creștem din nou contribuția la 900 000 \$ avem linia arătată în fig. B.3. de 900 000 \$. Acum putem vedea că vom fi limitați în mărimea contribuției totale de punctul f. El definește combinația producție de spălătoare și uscătoare care conduce la contribuția cea mai mare posibilă în cadrul spațiului soluțiilor realizabile. Citind din grafic, punctul f este situat aproximativ la coordonatele $x = 5\,300$, $y = 4\,700$. Deoarece punctul f este intersecția a două drepte care definesc capacitatea de ștanțare, capacitatea de motoare și transmisii, putem determina punctul f exact prin rezolvarea simultană a ecuațiilor acestor drepte. Aceste două ecuații sînt de forma $y = mx + b$, unde m este panta dreaptă și b este intersecția cu y . Cele două ecuații sînt :

Capacitatea de ștanțare :

$$y = 10\,000 - x \quad (\text{B.1})$$

Capacitatea motoare și transmisii :

$$y = 7\,000 - \frac{7}{16}x. \quad (\text{B.2})$$

Egalînd pe (B.1) cu (B.2) rezultă :

$$10\,000 - x = 7\,000 - \frac{7}{16}x$$

$$\frac{9}{16}x = 3\,000 \quad x = 5\,333 \text{ spălătoare.}$$

Introducînd pe $x = 5\,333$ în ecuația 1

$$y = 10\,000 - 5\,333 = 4\,667 \text{ uscătoare.}$$

Desigur, acestea corespund cu valorile aproximative citite de pe grafic. Observăm că toate liniile care reprezintă restricții pentru problemă ca și liniile reprezentînd funcția obiectiv sînt drepte. Toate relațiile sînt lineare, de unde și denumirea de programare lineară.

Interpretarea grafică a programei lineare poate fi extinsă și în spațiul tridimensional. Spre exemplu, am putea reprezenta trei produse, spălătoare, uscătoare și o spălătoare-uscătoare.

Liniile reprezentînd restricții ale problemei devin planuri. Soluțiile realizabile apar sub forma unui volum în loc de o suprafață și soluțiile optime apar la intersecțiile planurilor și nu ale liniilor. În afara problemelor tridimensionale, nu există reprezentare geometrică directă.

Un exemplu de problemă cu rezolvare algebrică

Să presupunem următoarea situație : producem foi de material plastic pe care le vindem în trei mărimi, în funcție de grosime. Dispunem de două amenajări productive, construite în aceeași incintă. Le vom denumi fabrica A și fabrica B. Fabrica B este proiectată mai recent și a fost construită special pentru producerea eficientă a mărimilor 1 și 2, deoarece aceste două mărimi au cererea cea mai mare. Totuși fabrica B este mai puțin rentabilă pentru mărimea B. Cifrele sînt prezentate în tabelul B.1. din care se mai redă că la fabrica A costurile variabilelor pe oră de lucru sînt 250 \$, comparativ cu 300 \$ pentru fabrica B și că la ambele fabrici se poate lucra pînă la 100 ore/săptămînă, dar nu mai mult. Costurile variabile orare includ salarii, energie etc. dar nu cuprind costul materiei prime. Acestea sînt identice pentru o mărime dată, indiferent de fabrică ce pot fi considerate nesemnificative pentru această problemă.

Tabelul B.II ne oferă cifrele de vînzări și cererile maxime pentru cele trei mărimi. La planificarea producției putem considera că se pot produce cantități maxime egale cu aceste cifre, inclusiv, sau mai mici decît acestea, dacă este mai economic.

Marea întrebare este : Cum ar trebui alocată producția pentru cele două fabrici pe cele trei mărimi pentru a maximiza indicele de beneficiu,

scopul final? În primul rând măsura noastră pentru eficiență este C , contribuția: diferența dintre încasări și costurile variabile. Apoi, tabelul B.I. ne dă costurile variabile sau incrementale și limitările timpului de producție disponibil. La fel, tabelul B.II. ne oferă date despre încasări și limitări ale cantităților ce le putem vinde. Să încercăm să exprimăm aceste idei mai precis.

Tabelul B.I. Cerințe de timp. Costuri variabile orare. Timp total disponibil pentru fabricile A și B.

Mărimea	Ore pe 100 kg.	
	Fabrica A	Fabrica B
1	0,25	0,20
2	0,40	0,25
3	0,35	0,40
Costuri variabile/oră	250 \$	300 \$
Nr. ore maxim disponibil/săptăm.	100	100

Formularea simbolică a problemei

Având restricțiile asupra numărului de ore pe care le pot lucra cele două fabrici și cunoscând timpul necesar pentru a produce fiecare mărime pe fiecare mașină, putem scrie pentru fabrica A: (ore pe unitate mărime 1) $\times$ (cantit. mărime 1) + (ore pe unitate mărime 2) $\times$ (cantit. mărime 2) + (ore pe unitate mărime 3) $\times$ (cantit. mărime 3) nu poate depăși 100 ore.

Toate datele conținute în acest enunț provin din tabelul B.I. Pentru a-l exprima simbolic să notăm cu x cantitățile din fiecare produs. Utilizând indici, x_{1A} este cantitatea din mărimea 1 produsă în fabrica A, x_{2A} este cantitatea din mărimea 2 în fabrica A, etc. Enunțul echivalent în formă simbolică este:

$$0,25x_{1A} + 0,40x_{2A} + 0,35x_{3A} \leq 100. \quad (\text{B.3})$$

Aceasta exprimă exact același lucru ca și enunțul în cuvinte. Simbolul se citește „mai mic sau egal“ și se referă numai la orele ce trebuie livrate în fabrica A pentru fiecare din cele trei mărimi. Similar, putem scrie un enunț simbol echivalent pentru fabrica B:

$$0,20x_{1B} + 0,25x_{2B} + 0,40x_{3B} \leq 100. \quad (\text{B.4})$$

Avem acum șase necunoscute x_{1A} , x_{1B} , x_{2A} , x_{2B} , x_{3A} , x_{3B} , cantitățile de câte 100 kg din fiecare din cele trei necunoscute ce trebuie produse în cele două fabrici.

Enunțurile simbolice (B.3) și (B.4) se numesc inegalități sau inecuații. În esență, ele arată că timpul total alocat fiecăreia din cele trei mărimi poate să nu fie egal cu 100, adică s-ar putea ivi un timp neutilizat. Astfel, pentru fabrica A, dacă numim W_A , timpul neutilizat, avem ecuația:

$$0,20x_{1B} + 0,25x_{2B} + 0,40x_{3B} + W_B = 100. \quad (\text{B.6})$$

Ne concentrăm acum atenția asupra cantităților totale produse care știm că nu pot depăși 310, 300 și 125 pentru cele trei mărimi, datorită limitărilor cererii. Dacă x reprezintă cantitățile produse, știm că ce s-a produs din mărimea 1 în fabrica A plus cantitatea produsă în fabrica B nu poate depăși 310, sau

$$x_{1A} + x_{1B} \leq 310. \quad (\text{B.7})$$

Similar, pentru mărimile 2 și 3 :

$$x_{2A} + x_{2B} \leq 300 \quad (\text{B.8})$$

$$x_{3A} + x_{3B} \leq 125. \quad (\text{B.9})$$

Ca și mai înainte, știm că s-ar putea să nu producem cantitatea maximă din fiecare din cele trei mărimi. Astfel încât din nou vom exprima diferențele prin trei variabile noi : W_1 , W_2 și W_3 (variabile de ecart) și vom obține 3 ecuații în loc de 3 inecuații :

$$x_{1A} + x_{1B} + W_1 = 310 \quad (\text{B.10})$$

$$x_{2A} + x_{2B} + W_2 = 300 \quad (\text{B.11})$$

$$x_{3A} + x_{3B} + W_3 = 126. \quad (\text{B.12})$$

Tabelul B.II. Incasări din vânzări și cererea maximă pentru cele trei mărimi

Mărimea	Incasări din vânzări 100 kg.	Cerere maximă săptămânală (100kg)
1	100 \$	310 \$
2	120 \$	300 \$
3	150 \$	125 \$

În sfârșit, vom avea un enunț, care exprimat simbolic va completa problema noastră. Este funcția beneficiului ce trebuie maximizat, pe care l-am numit și contribuție, adică încasările din vânzări minus costurile variabile, sau :

$$C = \text{încasări} - \text{costuri variabile} = \text{maxim}.$$

Din tabelul B.II obținem încasările la 100 kg de 100, 120 și respectiv 150 \$ pe cele trei mărimi. Dacă înmulțim pe fiecare cu cantitățile produse și apoi adunăm rezultatele, vom avea încasările totale :

$$\text{Incasări} = 100 (x_{1A} + x_{1B}) + 120 (x_{2A} + x_{2B}) + 150 (x_{3A} + x_{3B}).$$

Pentru a calcula costurile variabile, avem costul pe oră de 250 \$ la fabrica A și 300 \$ la fabrica B.

Dacă înmulțim orele totale lucrate în fabrica A cu 250 și orele totale lucrate în fabrica B cu 300 și le adunăm, vom avea costul variabil total pentru planul de producție :

$$\begin{aligned} \text{Cost variabil} = & 250 (0,25x_{1A} + 0,40x_{2A} + 0,35x_{3A}) + \\ & + 300 (0,20x_{1B} + 0,25x_{2B} + 0,40x_{3B}). \end{aligned}$$

Deoarece C = încasări—costuri variabile.

$$\begin{aligned} C = & 100(x_{1A} + x_{1B}) + 120(x_{2A} + x_{2B}) + 150(x_{3A} + x_{3B}) - \\ & - 250(0,25x_{1A} + 0,40x_{2A} + 0,35x_{3A}) - \\ & - 300(0,20x_{1B} + 0,25x_{2B} + 0,40x_{3B}) = \max. \end{aligned}$$

Funcția profitului poate fi simplificată prin efectuarea înmulțirilor și darea de factori comuni, obținînd :

$$C = 37,5x_{1A} + 40x_{1B} + 20x_{2A} + 45x_{2B} + 62x_{3A} + 30x_{3B} = \max. \quad (\text{B.13})$$

Termenul C reprezintă de fapt suma diferențelor între încasări și costul variabil pentru fiecare mărime pe fiecare mașină, înmulțită cu cantitatea produsă. Totalul C , este mărimea pe care o dorim cît mai mare posibil, și aceasta este indicat prin $c = „\max”$.

Avem acum 5 ecuații și 11 necunoscute plus funcția obiectiv pe care dorim s-o maximizăm. Să le grupăm folosind variabilele identice pe coloane, cum se arată în partea de sus a tabelului B.III.

Acum dacă așezăm variabilele ca titluri ale coloanelor și listăm dedesubt doar coeficienții obținem tabelul B.III. În acest tabel presupunem că acolo unde nu se dau numere, coeficienții sînt zero.

Tabelul B.III începe să arate ca o matrice simplex, în formă de tabel, folosită la rezolvarea problemelor simplex, de programare lineară. În această formă ea poate fi rezolvată printr-o prelucrare iterativă pentru determinarea fiecăreia din cele 11 variabile.

Un proces iterativ este o procedură aritmetică care se repetă mereu conform unui anumit set standard de reguli. Din discuțiile precedente și din algebra de bază știm că pentru 5 ecuații, numai 5 dintre variabile pot avea valori pozitive și cel puțin 6 sînt zero. Soluția simplex ne spune care variabile sînt zero și valoarea celorlalte pentru condiția cînd C este maxim. Soluția pentru această problemă este :

C are un maxim de 33 250 \$ cînd cele 11 variabile iau următoarele valori : (detaliile de rezolvare prin simplex sînt prezentate mai tîrziu).

x_{1A}	= 185 kg	(mărimea 1 în fabrica A)
x_{1B}	= 120 kg	(mărimea 1 în fabrica B)
x_{2A}	= 0 kg	(mărimea 2 în fabrica A)
x_{2B}	= 300 kg	(mărimea 2 în fabrica B)
x_{3A}	= 125 kg	(mărimea 3 în fabrica A)
x_{3B}	= 0 kg	(mărimea 3 în fabrica B)
W_A	= 10 ore	(timp nefolosit în fabrica A)
W_B	= 0 ore	(timp nefolosit în fabrica B)
W_1	= 0 sute kg	(cerere suplimentară, mărimea 1)
W_2	= 0 sute kg	(cerere suplimentară, mărimea 2)
W_3	= 0 sute kg	(cerere suplimentară, mărimea 3)

Tabelul B.III

$0,25x_{1A}$	$+0,40x_{2A}$	$+0,35x_{3A}$	$+W_A$	$+100$	(8)
$0,20x_{1B}$	$+0,25x_{2B}$	$+0,40x_{3B}$	$+W_B$	$=100$	(9)
x_{1A}	x_{1B}		$+W_1$	$=310$	(10)
	$x_{2A} + x_{2B}$		$+W_2$	$=300$	(11)
		$x_{3A} + x_{3B}$		$+W_3 = 125$	(12)
$37,5x_{1A} + 40x_{1B} + 20x_{2A} + 45x_{2B} + 62,5x_{3A} + 30x_{3B}$				$=\max$	(13)

x_{1A}	x_{1B}	x_{2A}	x_{2B}	x	x_{3B}	W_A	W_B	W_1	W_2	W_3	Membrul dr. al ec.
0,25		0,40		0,35		1					100
	0,20		0,25		0,40		1				100
1								1			310
		1	1						1		300
				1	1					1	125
37,5	40	20	45	62,5	30						max

Să vedem dacă aceste valori se verifică cu restricțiile de capacitate și cerere de 310, 300 și respectiv 125 kg pe trei mărimi. Soluția ne dă :

	Produse (sute kg)		
	Mărime 1	Mărime 2	Mărime 3
Fabrica A	185	0	125
Fabrica B	125	300	0
Total	310	300	125

Am stabilit, de asemenea 100 ore ca timp maxim disponibil pe săptămână în fiecare fabrică. Transformăm cantitățile produse din fiecare mărime în fiecare fabrică în ore echivalente prin înmulțirea cu timpii unitari ceruți. Rezultă următoarele :

Mărime	Fabrica A, ore	Fabrica B, ore
1	$0,25 \times 185 = 46,25$	$0,25 \times 125 = 25,00$
2	$0,40 \times 0 = 0$	$0,25 \times 300 = 75,00$
3	$0,35 \times 135 = 43,75$	$0,40 \times 0 = 0$
ore nelucrate	10,00	0
	100,00	100,00

Deci, soluția ne spune că mărimea beneficiului va fi maximizată dacă (a) respectăm mărimea cererii, (b) nu utilizăm 10 ore la fabrica A, producând mărimile 1 și 3 în cantitățile arătate și (c) lucrăm la fabrica B toate cele 100 de ore producând mărimile 1 și 2 în cantitățile arătate.

Aceasta este o problemă simplă în comparație cu complexitatea celor din realitate industrială. Chiar și așa, răspunsul nu era ușor previzibil.

Privind cerințele de timp în fabricile A și B pentru diverse mărimi, putem aprecia că fabrica B ar trebui să se axeze pe mărimile 1 și 2. În fond, ea a și fost proiectată pentru a le produce economic. Totuși, distribuirea orelor productive nu este deloc evidentă ca și faptul că fabrica A ar trebui să staționeze 10 ore.

Variante ale problemei

Trebuie să arătăm că modelul de programare lineară cu care am lucrat poate rezolva și problema cu alte obiective de bază. De exemplu, un program pentru maximizarea utilizării echipamentului ar cere o funcție obiectiv unde suma celor două variabile de staționare W_A și W_B este minimă. Dimpotrivă, s-ar putea programa ca obiectiv tonajul maxim prin folosirea unei funcții obiectiv în care se maximizează suma tuturor x -ilor. În ambele cazuri se vor utiliza aceleași cinci ecuații.

Aplicabilitate generală

Problema pe care am folosit-o ca exemplu este reprezentativă pentru o categorie largă de probleme în care trebuie să alocăm resurse limitate pentru mai multe activități sau utilizări. Modelele pentru anumite pro-

bleme pot impune restricții, așa cum ilustrează problema luată ca exemplu. De pildă, ne era permis să utilizăm ore mașină pînă la un maxim de 100 ore sau cererea era limitată pînă la un maxim specificat. Nu dorim să se înțeleagă din acest exemplu, că toate problemele implică formulări de acest tip. Putem opera la fel de bine cu cerințe, egalități și aproximări. Prin cerințe înțelegem că se specifică o limită minimă în loc de o limită maximă. În exemplul precedent am fi putut dori să specificăm că atît fabrica A cît și fabrica B să nu lucreze mai puțin de 40 ore pe săptămînă.

Aceasta s-ar fi putut exprima sub forma a încă două inegalități, cîte una pentru fiecare fabrică. Ar fi rezultat ecuații noi dacă am fi specificat că cele două fabrici trebuie să lucreze exact 100 de ore fiecare. Dacă am fi dorit ca cele două fabrici să lucreze circa 100 ore fiecare, dar am fi tolerat ușoare abateri într-un sens sau altul, am fi putut introduce în modelul nostru aproximări. Aceste moduri diferite de specificații pot fi folosite alternativ în aceeași problemă de bază, pentru a evalua efectul asupra beneficiului, în funcție de diferite politici privind orele de lucru, utilizarea echipamentului, etc.

Soluția simplex

Vom prezenta metoda de rezolvare Simplex recurgînd la o problemă simplificată. Un producător are două produse I și II, ambele fiind fabricate în două etape, pe mașinile A și B. Timpii de prelucrare pentru cele două produse pe sută de bucăți pe cele două mașini sînt (timpii de pregătire sînt neglijăți) :

Produs	Mașina A	Mașina B
I	4 ore	50 ore
II	5 ore	2 ore

Pentru perioada următoare, mașina A are disponibile 100 ore și B 80 ore.

Contribuția pentru produsul I este 10 \$ pe 100 unități și pentru produsul II, 5 \$ pe 100 unități. Producătorul poate să producă din ambele produse pentru perioada imediat următoare. Dorim să determinăm cît de mult ar trebui să producă din produsele I și II pentru a-și maximiza contribuția.

Formularea problemei

Adoptăm următorul sistem de notație : fie x_I cantitatea în sute de produse din produsul I și x_{II} cantitatea în sute de produse din produsul II, care vor fi fabricate. Sîntem limitați numai de orele disponibile pe mașinile A și B, așa încît știm că suma timpilor consumați pentru fa-

bricarea celor două produse pe cele două mașini nu pot depăși 100 ore pentru mașina A și 80 ore pentru mașina B. Aceasta se poate exprima astfel :

$$\text{Mașina A } 4x_I + 5x_{II} = 100 \quad (\text{B.14})$$

$$\text{Mașina B } 5x_I + 2x_{II} = 80 \quad (\text{B.15})$$

Deoarece contribuția totală pe care noi am dori-o cât mai mare posibil depinde numai de cantitățile celor două produse fabricate, putem scrie :

$$10x_I + 5x_{II} = \max. \quad (\text{B.16})$$

Aceasta este funcția obiectiv. Dorim să găsim combinația de valori pentru x_I și x_{II} care corespunde restricțiilor impuse de timpii de fabricare pentru cele două produse și timpul total disponibil, exprimate în ecuațiile 14 și 15 și, în plus, face maximă contribuția totală, exprimată în ecuația 16.

Admitem că este în întregime posibil ca mașinile A și B să aibă timp neutilizat. Dacă W_A este timpul nelucrat pe mașina A, și W_B este timpul nelucrat pe mașina B, ecuațiile B.14 și B.15 devin :

$$4x_I + 5x_{II} + W_A = 100 \quad (\text{B.17})$$

$$5x_I + 2x_{II} + W_B = 80 \quad (\text{B.18})$$

Soluția inițială

Să rearanjăm ecuațiile 17 și 18 prin plasarea variabilelor x_I , x_{II} , W_A , W_B ca titluri de coloane, în josul coloanelor trecînd doar coeficienții.

Tabelul B.IV. Ecuațiile problemei în formă de matrice

	x_I	x_{II}	W_A	W_B
100	4	5	1	0
80	5	2	0	1

De asemenea, mutăm numerele din dreapta ecuațiilor în stînga. Rezultă tabelul B.IV.

Avem două ecuații și patru necunoscute. Să ne amintim din discuția precedentă că cel mult două din aceste variabile pot avea valori pozitive și că cel puțin două dintre ele trebuie să fie zero. Aceasta ne dă cheia pentru stabilirea unei soluții inițiale, pe care o putem utiliza apoi ca bază pentru îmbunătățire. Dacă începem cu presupunerea că x_I și x_{II} sînt ambele zero, este ușor de văzut din ecuații (B.17) și (B.18) că W_A trebuie să fie 100 și W_B trebuie să fie 80. Admiterea acestei soluții este com-

plet nesatisfăcătoare, deoarece spune că tot timpul disponibil este neutilizat, dar corespunde ecuațiilor problemei și ne permite să începem calculul. Plasăm această soluție inițială sau banală în matrice ca în tabelul B.V. Careul identifică variabilele din soluție și prezintă valorile lor. În stînga careului avem coeficienții de contribuție ai variabilelor în funcția obiectiv. Nici W_A și nici W_B nu intră în funcția obiectiv așa că în coloana lor se înscrie zero. Aceasta are sens; dacă cele două mașini sînt complet nefolosite contribuția este zero. Valoarea funcției obiectiv în acest punct este:

$$10(0) + 5(0) + 0(W_A) + 0(W_B) = 0$$

Tabelul B.V. Soluția inițială arătată de matrice

		10	5	0	0	Coeficienții funcției obiectiv adunați
0	W_A	100	x_1	x_2	x_A	
0	W_B	80	4	5	1	0
			5	2	0	1

rezultatul prezentat aici;
variabilele necuprinse în
careu sînt zero.
(Aceleste numere indică coeficienții
de contribuție ai variabilelor
 W_A și W_B în funcția obiectiv.)

Înainte de a merge mai departe să numim diferitele părți ale matricei. Fig. B.4 prezintă modul cum se denumesc diferitele părți ale matricei.

Partea de soluție va conține întotdeauna trei coloane, corpul și identitatea vor varia în mărime depinzînd de natura problemei.

			10	5	0	0	←	
			x_1	x_2	W_A	W_B	←	
0	W_A	100	4	5	1	0	} Execuțiile problemei	
0	W_B	80	5	2	0	1		

Blocul soluției
 Corpul identității
 Coloana constantelor (valorile variabilelor din soluție)
 Coloana variabilelor (variabilele din soluție)
 Coloana obiectiv (coeficienții variabilelor în funcția de obiectiv)

Fig. B.4. Nomenclatura matricii simplex. (în text).

Pentru a îmbunătăți soluția inițială trebuie să avem o măsură a îmbunătățirii potențiale pe care am aduce-o funcției obiectiv prin aducerea în soluție a unor variabile care acum sînt zero în locul variabilelor existente. Această etapă este comparabilă cu evaluările careurilor deschise din me-

toda distribuțiilor și metoda MODI din anexa A. Pentru a face aceasta la simplex, vom construi un rând de index care va fi plasat imediat dedesubtul matricii inițiale. Acești indexi vor apare sub coloana constantă, corp și identitate. Ei sînt calculați cu formula :

Numărul de index = $\sum (\text{numere din coloane}) \times (\text{numerele corespunzătoare din coloana obiectiv}) - (\text{numărul din linia obiectiv din capul coloanei}).$

Pentru problema noastră numerele rîndului de index sînt :

(1) Număr index pentru coloana constantă

$$= (100 \times 0 + 80 \times 0) - 0 = 0$$

(2) Număr index pentru prima coloană a corpului : =

$$= (4 \times 0 + 5 \times 0) - 10 = -10$$

(3) Număr index pentru a doua coloană a corpului : =

$$= (5 \times 0 + 2 \times 0) - 5 = -5$$

(4) Număr index pentru prima coloană a identității =

$$= (1 \times 0 + 0 \times 0) - 0 = 0$$

(5) Număr index pentru a doua coloană a identității

$$= (0 \times 0 + 1 \times 0) - 0 = 0$$

Acum plasăm numerele de index în matricea simplex inițială (vezi tabelul B.VI). Observăm că rîndul index este tocmai rîndul obiectiv precedat de semne minus. Aceasta se petrece numai cînd coloana obiectiv conține numai zerouri.

Ca și la metoda MODI numărul de index indică unde poate fi făcută îmbunătățirea cea mai mare. Cu cît numărul negativ este mai mare, cu atît mai mare este îmbunătățirea potențială pe unitate a noii variabile. Care va fi introduse. Dacă toate numerele rîndului index de sub corp și identitate erau zero sau pozitive nu s-ar mai fi putut obține nici o îmbunătățire, ceea ce ar fi indicat că soluția prezentată în partea de soluție era optimă.

Din tabelul B.VI vedem că în coloana corespunzătoare variabilei x_1 există cea mai mare îmbunătățire potențială, așa încît o alegem drept coloană cheie. Această alegere înseamnă că variabila x_1 va fi introdusă în soluție în locul lui W_A sau W_B . Pentru a determina pe care din ele o va înlocui x_1 , trebuie să alegem un rînd cheie. Pentru asta, împărțim fiecare număr din coloana constantă prin numărul pozitiv diferit de zero corespunzător din coloana cheie. Cîturile rezultate sînt comparate între ele și se alege ca rînd cheie cel corespunzător celui mai mic cît nenegativ. Pentru problema noastră cîturile sînt :

$$\text{Primul rînd } \frac{100}{4} = 25$$

$$\text{Al doilea rînd } \frac{80}{5} = 16 \text{ (rînd cheie)}$$

Cel mai mic cît nenegativ este de 16, calculat pentru al doilea rînd, și acesta devine rînd cheie. Numărul comun atît coloanei cheie cît și rîndului cheie devine număr cheie. Tabelul B.VII prezintă matricea cu coloana, rîndul și numărul cheie identificate.

Tabelul B.VI. Matricea simplex originală

			10	5	0	0
			x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100	4	5	1	0
0	W_B	80	5	2	0	1
		0	-10	-5	0	0

Să facem o pauză pentru moment pentru a examina ce rațiune au cele făcute. Să ne amintim că în metoda distribuției, cînd găseam un careu care aducea o îmbunătățire potențială în costurile totale de distribuție doream să transferăm pe acea rută cît mai multe unități posibil pentru a face îmbunătățirea cît mai mare. Eram însă totdeauna limitați de careul negativ care avea deja alocarea cea mai mică.

Tabelul B.VII. Matricea cu coloana, rîndul și numărul cheie identificate

				10	5	0	0
				x_I	x_{II}	W_A	W_B
	0	W_A	100	4	5	1	0
Key row →	0	W_B	80	5	2	0	1
		0	-10	-5	0	0	

Key number ———— ↑ ———— Key column

Acest gen de situație apare în simplex la alegerea rîndului cheie. Știm că x_I va fi introdus în soluție și dorim să știm care este valoarea sa maximă corespunzător ambelor ecuații ale problemei, știind că nici una din variabile nu poate lua valori negative. În prima ecuație, x_I va fi cel mai mare cînd x_{II} și W_A sînt zero, adică :

$$4x_I + 5x_{II} + W_A = 100$$

sau

$$x_I = \frac{100}{4} = 25.$$

În a doua ecuație, x_I va fi cel mai mare cînd x_{II} și W_B sînt zero adică :

$$5x_I + 2x_{II} + W_B = 0$$

$$x_I = \frac{80}{5} = 16.$$

Deci ecuația a doua este cea care limitează pe x_I . El nu poate fi mai mare decît 16, și acest fapt impune alegerea celui de-al doilea rînd ca rînd cheie.

Avînd alese coloana cheie și rîndul cheie, putem întocmi un nou tabel reprezentînd soluția îmbunătățită. Primul pas în întocmirea noului tabel este calcularea coeficienților pentru rîndul principal. Acest rînd principal apare în aceeași poziție relativă în noul tabel ca și rîndul cheie în tabelul precedent. El este calculat prin împărțirea coeficienților rîndului cheie la numărul cheie.

Tabelul B.VIII. Matrice cu soluție îmbunătățită

Ist table			10	5	0	0
			x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100	4	5	1	0
0	W_B	80	5	2	0	1
		0	-10	-5	0	0

2nd table			16	1	$\frac{2}{5}$	0	$\frac{1}{5}$ ← Main row
-----------	--	--	----	---	---------------	---	--------------------------

Tabelul B.VIII prezintă această operație. Variabila și numărul său obiectiv din capul coloanei cheie, x_I și 10, sînt plasate în partea de soluție a rîndului principal, înlocuind pe W_B și 0 din tabelul precedent. Diferența dintre coloanele obiectiv și variabile din partea de soluție este copiată din tabelul precedent, noul tabel întocmit pînă la acest punct, e reprezentat în tabelul B.IX.

Tabelul B.IX

Ist table			10	5	0	0
			x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100	4	5	1	0
0	W_B	80	5	2	0	1
		0	-10	-5	0	0

2nd table			16	1	$\frac{2}{5}$	0	$\frac{1}{5}$
0	W_A						
10	x_I						

Apoi se calculează toți coeficienții rămași necompletați în noul tabel, inclusiv coloana constantă, corpul, identitatea și rîndul index, cu următoarea formulă :

$$\text{Număr nou} = \text{Număr vechi} - \frac{\text{Nr. corespunzător (în rîndul cheie)}}{\text{Număr cheie}} \times \frac{\text{Nr. corespunzător (în coloana cheie)}}$$

(1) primul rînd, coloana constantă

$$\text{Număr nou} = 100 - \frac{80 \times 4}{5} = 36$$

(2) primul rînd, prima coloană a corpului

$$\text{Număr nou} = 4 - \frac{5 \times 4}{5} = 0$$

(3) rîndul index, coloana constantă

$$\text{Număr nou} = 0 - \frac{80 \times (-10)}{5} = 160$$

Coeficienții rămași pot fi calculați în același mod, soluția îmbunătățită finală fiind prezentată în tabelul B.X., cu un nou rînd de index, indică orice noi posibilități de îmbunătățire.

Vom nota că soluția în acest stadiu este :

			$x_I = 16$	
			$x_{II} = 0$	
			$W_A = 36$	
			$W_B = 0$	

Valorile în coloana constantă a părții de soluție arată acest lucru, x_{II} și W_B fiind zero și neapărînd deloc în această coloană. Valoarea funcției obiectiv (contribuția) pentru această soluție este 160 \$ fiind date în coloana constante, rîndul de index.

Tabelul B.X. arată însă că soluția poate fi încă îmbunătățită, din moment ce apare un (-1) în rîndul de index sub variabila x_{II} . Deoarece este singurul număr negativ pe rîndul de index este aleasă coloana cheie pentru iterația următoare. Rîndul cheie este ales la fel ca mai înainte cele două cituri sînt :

$$\text{Primul rînd } \frac{36}{17/5} = \frac{180}{17} = 10,59.$$

$$\text{Al doilea rînd } \frac{16}{2/5} = 40.$$

Primul rînd are citul nenegativ cel mai mic, așa că este ales ca rînd cheie. Se calculează un nou rînd principal ca înainte prin împărțirea coeficienților din rîndul principal cu numărul cheie. Noua variabilă x_{II} a numărului său obiectiv sînt introduse în partea de soluție și se calculează din nou noile numere în corp identitate și rîndul de index. Variabila rămasă și numărul său obiectiv sînt copiate din tabelul de iterație precedent.

Noua soluție prezentată în tabelul B.XI este optimă pentru că nu este indicată vre-o altă îmbunătățire în rîndul index. Valorile variabilelor pentru soluția optimă sînt :

$$x_I = 200/17$$

$$x_{II} = 180/17$$

$$W_A = 0$$

$$W_B = 0$$

Dacă întocmim aceste valori în ecuațiile B.17 și B.18 vedem că ele le verifică exact. Soluția arată că produsele I și II ar trebui produse în cantitățile desemnate prin x_I și x_{II} (în sute) pentru a realiza o contribuție maximă de $C = 2\,900/17 = 17\,050$ \$. Pentru fiecare iterație se prezintă valoarea funcției obiectiv în coloana constantă, rîndul index. Ea a fost 160 \$ pentru a doua soluție și $2\,900/17 = 170,50$ \$ pentru soluția optimă. Soluția este unică, adică nici o altă combinație a lui x_I și x_{II} nu conduce la o cifră a contribuției la fel de mare ca aceasta.

Tabelul B.X

Ist table			10	5	0	0
			x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100	4	5	1	0
0	W_B	80	5	2	0	1
		0	-10	-5	0	0

2nd table						
0	W_A	36	0	$17/5$	1	$-4/5$
10	x_I	16	1	$2/5$	0	$1/5$
		160	0	-1	0	2

Recapitularea procedurii

- 1) Formularea problemei și a funcției obiectiv.
- 2) Construirea matricii simplex inițiale, incluzînd soluția inițială banală și numerele rîndului de index. Numerele rîndului de index se calculează după formula :

$$\text{Număr index} = \text{Numere în coloană} \times \text{Număr corespunzător în col. obiectiv} - \text{număr în rîndul obiectiv cap de coloană}$$

- 3) Alegerea coloanei cheie, coloana cu numărul de index cel mai mare negativ din corp sau identitate.

- 4) Alegerea rîndului cheie, rîndul cu citul nenegativ cel mai mic obținut prin împărțirea fiecărui număr din coloana constante cu numărul corespunzător pozitiv nonzero din coloana cheie.

- 5) Numărul cheie se află la intersecția rîndului cheie cu coloana cheie.
6) Construirea rîndului principal al noului tabel.

$$\text{Rînd principal} = \frac{\text{rînd cheie din tabelul precedent}}{\text{număr cheie}}$$

Rîndul principal apare în noul tabel în aceeași poziție relativă ca rîndul cheie din tabelul precedent.

Tabelul B.I. Matrice simplex. Iterația finală completă

Ist table				10	5	0	0
				x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100		4	5	1	0
0	W_B	80		5	2	0	1
		0		-10	-5	0	0

2nd table

0	W_A	36	0	$\frac{17}{5}$	1	$-\frac{4}{5}$
10	x_I	16	1	$\frac{2}{5}$	0	$\frac{1}{5}$
		160	0	-1	0	2

3rd table

5	x_{II}	$\frac{180}{17}$	0	1	$\frac{5}{17}$	$-\frac{4}{17}$
10	x_I	$\frac{200}{17}$	1	0	$-\frac{2}{17}$	$\frac{5}{17}$
		$\frac{2800}{17}$	0	0	$\frac{5}{17}$	$\frac{30}{17}$

7) Construirea noului tabel :

- (a) Variabila și numărul său obiectiv din capul coloanei cheie sînt introduse în partea de soluție a noului tabel la stînga rîndului principal, înlocuind variabila și numărul obiectiv din rîndul cheie al tabelului precedent.
(b) Partea rămasă a coloanelor de variabile și obiectiv sînt raportate în noul tabel exact cum erau în tabelul precedent.
(c) Se calculează diferența coeficienților pentru noul tabel după formula :

$$\text{Număr nou} = \text{Număr vechi} - \frac{\left[\text{Nr. corespunzător al rîndului cheie} \right] \times \left[\text{Nr. corespunzător al coloanei cheie} \right]}{\text{Număr cheie}}$$

8) Se repetă (iterație) pașii 3—7 c pînă cînd toate numerele de index (neincluzînd coloana constante) sînt pozitive. Atunci rezultă o soluție optimă. Urmează interpretarea rezultatelor soluției. Variabilele din coloana de variabile au valorile cuprinse în rîndurile corespunzătoare din coloana constantă, rîndul index. Toate variabilele care nu apar în partea de soluție sînt zero.

Verificare. Cea mai simplă și cea mai eficientă verificare a procedurii în desfășurare este stabilirea unei coloane de control în dreapta matricei simplex. Numerele din coloana de verificare sînt simpla sumă algebrică a tuturor numerelor dintr-un anumit rînd începînd cu coloana constantă și adăugînd toți coeficienții înspre dreapta. Această coloană de control se calculează pentru fiecare rînd, inclusiv rîndul de index. Toate numerele din coloana de control supun acelorași transformări ca și celelalte numere din tabel. După transformare, suma algebrică a coeficienților de rînd trebuie să fie egală cu numărul transformat din coloana de control. Dacă nu se respectă această egalitate, înseamnă că s-a făcut o eroare care trebuie localizată și corectată înainte de a merge mai departe. O asemenea coloană de control este utilizată în rezolvarea ilustrativă a problemei cu forțe de plastic prezentată anterior, a cărei rezolvare este dată în tabelul B.XIII.

Degenerarea în soluția Simplex. Degenerarea în soluția simplex poate fi recunoscută în momentul alegerii rîndului cheie. Dacă în acest moment există două sau mai mulți cituri negativi, care au valoarea minimă atunci problema este degenerată. Tabelul B.XII prezintă această situație pentru o matrice simplex puțin diferită de exemplul pe care l-am utilizat. Împărțind coloana constantă la numărul corespunzător din coloana cheie avem :

$$\text{Rînd 1 } 100/4 = 25$$

$$\text{Rînd 2 } 125/5 = 25$$

Apare o egalitate și există posibilitatea, în cazul alegerii rîndului greșit ca rînd cheie, să dispară variabila din partea de soluție a celui alt rînd. În acest punct problema poate intra într-un ciclu, și nu se poate obține soluția optimă. Degenerarea este rezolvată prin următoarea procedură :

1) Se împarte fiecare element din rîndurile cu cituri egale cu numărul coloanei cheie din acel rînd.

2) Se compară fracțiile rezultate coloană cu coloană de la stînga la dreapta mai întîi în identitate și apoi în corp.

3) Prima comparație care relevă fracții neegale rezolvă degenerarea.

4) Rîndul cheie este acel rînd care a avut fracția cea mai mică luată algebric.

Tabelul B.XII. Degenerarea în soluția Simplex

			10	5	0	0
			x_I	x_{II}	W_A	W_B
0	W_A	100	4	5	1	0
0	W_B	125	5	2	0	1
		0	-10	2	0	0

Primul rînd $1/4$

Al doilea rînd 0

Rîndul al doilea dă fracția cea mai mică algebrică, deci, el este ales ca rînd cheie. Se reia apoi procedura simplex obișnuită. Această procedură pentru rezolvarea degenerării este generală și poate fi aplicată în orice stadiu de rezolvare și la orice dimensiune a matricii.

Tabelul B. XIII. Soluția simplex pentru întreaga problemă

			37.5	40	20	45	62.5	30	0	0	0	0	0	ck
			x_{1A}	x_{1B}	x_{2A}	x_{2B}	x_{3A}	x_{3B}	W_A	W_B	W_1	W_2	W_3	
0	W_A	100	0.25	0	0.40	0	0.35	0	1	0	0	0	0	102.00
0	W_B	100	0	0.20	0	0.25	0	0.40	0	1	0	0	0	101.85
0	W_1	310	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	313
0	W_2	300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	303
0	W_3	125	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	128
0			-37.5	-40	-20	-45	-62.5	-30	0	0	0	0	0	-235.0
0	W_A	56.25	0.25	0	0.40	0	0	-0.35	1	0	0	0	-0.35	57.2
0	W_B	100	0	0.20	0	0.25	0	0.40	0	1	0	0	0	101.85
0	W_1	310	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	313
0	W_2	300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	303
62.5	x_{3A}	125	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	128
		7,812.5	-37.5	-40	-20	-45	0	32.5	0	0	0	0	62.5	7,765
0	W_A	56.25	0.25	0	0.40	0	0	-0.35	1	0	0	0	-0.35	57.2
0	W_B	25	0	0.20	-0.25	0	0	0.40	0	1	0	-0.25	0	26.10
0	W_1	310	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	313
45	x_{2B}	300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	303
62.5	x_{3A}	125	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	128
		21,312.5	-37.5	-40	25	0	0	32.5	0	0	0	45	62.5	21,400
0	W_A	56.25	0.25	0	0.40	0	0	-0.35	1	0	0	0	-0.35	57.2
40	x_{1B}	125	0	1	-1.25	0	0	2	0	5	0	-1.25	0	130.5
0	W_1	185	1	0	+1.25	0	0	-2	0	-5	1	+1.25	0	182.5
45	x_{2B}	300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	303
62.5	x_{3A}	125	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	128
		26,312.5	-37.5	0	-25	0	0	112.5	0	200	0	-5	62.5	26,620
0	W_A	10	0	0	0.0875	0	0	0.15	1	1.25	-0.25	-0.3125	-0.35	11.575
40	x_{1B}	125	0	1	-1.25	0	0	2	0	5	0	-1.25	0	130.5
37.5	x_{1A}	185	1	0	1.25	0	0	-2	0	-5	1	1.25	0	182.5
45	x_{2B}	300	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	303
62.5	x_{3A}	125	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	128
		33,250	0	0	21.875	0	0	37.5	0	12.5	37.5	41.875	62.5	33,463.75

În acest fel am definit esența procedurii simplex ; sînt totuși încă o mulțime de alte lucruri ce s-ar putea spune despre metoda simplex. Noi am exemplificat cu o problemă care a implicat restricții (de ex : orele erau limitate de anumite valori maxime). În problemele implicînd cerințe (ex. orele trebuie să fie mai mari sau egale cu anumite valori specificate), egalități (ex. orele trebuie să fie strict egale cu anumite valori) sau aproximații, în pregătirea modelului pentru rezolvarea prin simplex trebuie manevrate corect variabilele de cart. Acestea, ca și alte probleme ținînd de programarea lineară pot fi găsite în cărți tratînd acest subiect.

Soluția simplex a problemei cu foile de plastic. Soluția simplex pentru această problemă e prezentată în tabelul B.XIII. Pentru detalii privind problema ca atare și formularea ecuațiilor problemei și a funcției obiectiv, vezi pg. 733—739. Se prezintă la început soluția inițială banală și apoi iterațiile necesare, fără nici un alt comentariu.

Domeniul de aplicare a programării liniare

Exemple de aplicații ale programării lineare prezentate mai jos ne vor da o idee asupra gamei de probleme în care poate fi utilizată această metodă :

1) *Alocarea capacităților de producție cînd există posibilitatea unor variante de prelucrare **. Date fiind timpul de prelucrare unitar pentru diferite secvențe de prelucrare, totalul orelor disponibile pe diferite clase de mașini, cerințe, exprimată în număr de unități pe fiecare produs, și beneficiul pe unități pentru fiecare produs, și beneficiînd pe unități pentru fiecare produs, programarea lineară poate da o soluție care : să maximizeze o anumită funcție de beneficiu să minimizeze costurile variabile sau să atingă alt obiectiv al conducerii. Acest caz se aseamănă cu exemplul nostru precedent, dar nu este identic datorită faptului că aici este vorba de o succesiune de operații.

2) *Alocarea unor fonduri limitate pentru diferite articole de stoc pentru a minimiza pierderile din nivelurile stocului sub nivelul optim.*

3) *Probleme de amestec.* De exemplu un fabricant de vopsele poate avea nevoie să prepare aditivi care sînt amestecuri din mai mulți constituenți. Constituenții, cum ar fi uleiul și diluantul, sînt disponibili în cantitate limitată și în amestecuri comerciale în proporție fixă. Costurile pe lista ale diferitelor materii prime utilizabile sînt cunoscute.

Problema este să se determine cantitatea din fiecare materie primă astfel încît cantitățile cerute din noile amestecuri să fie obținute la costuri minime. O altă problemă similară este amestecul de nutrețuri pentru animale pentru a asigura anumite valori nutritive minime la cost minim.

4) *Probleme de procurare.*

De exemplu, un producător vrea să știe ce piese să cumpere pentru a maximiza beneficiul, în cadrul restricțiilor de capacitate sau în cadrul politici de subcontractare a unei cantități minime date. Acolo unde subcon-

* vezi [18] pag. 53.

tractarea cu anumiți furnizori este limitată de politica firmei, sau de capacitatea furnizorului, se pot programa negocieri „la licitație”, astfel încât beneficiul este maximizat în cadrul limitărilor impuse de politică sau de capacitate.

5) *Programarea producției pentru a corespunde previziunii vânzărilor* * folosind fluctuația stocurilor și orele suplimentare pentru a absorbi variațiile aleatoare sau sezoniere ale încărcării.

6) *Maximizarea utilizării resurselor materiale* **. De multe ori, din materiile prime cu dimensiuni standard trebuie ștanțate sau tăiate bucăți de diferite mărimi. Întrebarea este : Ce combinație de decupări va răspunde necesarului de cantități din diferite mărimi cu o pierdere minimă de material ?

Alte metode de programare

Principala limită a programării liniare este că cere ca toate relațiile să fie lineare. De exemplu dacă salariile directe pe 5 unități sînt de 10 \$, atunci salariile directe pe 10 unități vor fi 20 \$, sau mai simplu, 2 \$ pe unitate. În realitate, costul salariilor directe pe unitate se poate schimba în funcție de volum, depinzînd de sistemele de plată și procentul de capacitate cu care livrăm. În mod similar multe alte măsuri pe care am dori să le utilizăm în modelele de programare lineară pot să nu fie în realitate lineare sau în legătură direct proporțională. Foarte adesea, totuși, o relație direct proporțională reprezintă o aproximare foarte bună a situației reale. Sau, chiar dacă relația nu este lineară pe întregul său domeniu, partea în care sîntem interesați poate fi aproximativ lineară. În aceste cazuri, linearitatea se presupune satisfăcută și se folosesc modele de programare lineară cu o pierdere mică de precizie.

Programarea pătratică este o tehnică algebrică care face posibilă o aproximare mai exactă a curbelor de cost reale.

Programarea dinamică face posibilă rezolvarea problemelor de programare în mai multe etape, unde decizia generală de pasul 1 devine condiție a problemei pentru pasul 2, etc. De exemplu în programarea producției, cantitatea planificată pentru a fi produsă în luna curentă depinde parțial de producția din luna precedentă datorită posibilei acumulări sau reduceri de intervale.

PROBLEME

1. Povestea spune că odată Lucreția Borgia a invitat la masă 50 de dușmani. Piesa de rezistență urma să fie otrava. În acele zile crude se găseau de vânzare numai două otrăvuri : otrava X și otrava Y. Înainte de prepararea meniului, tînăra doamnă, înzestrată cu un remarcabil talent, a luat în considerare cîteva din restricțiile legate de planul său :

* vezi [14], cap. 7

** vezi [14], cap. 8

(a) Dacă ar folosi mai mult de $1/2$ kg de otravă, oaspeții ar sesiza-o și ar refuza să mănince;

(b) Vrajitorul particular al Lucreției, o versiune neadevărată a personalului de planificare modern, i-a murmurat odată câteva numere magice în următoarele versuri albe:

Un Y și doi X

Dacă-s mai puțin de jumătate

Atunci vai și-amar de tine.

(c) Otrava X va ucide 75 de oameni și otrava Y va ucide 200 de oameni, pe kilogram.

(d) Otrava X costă 100 galbeni kilogramul și otrava Y 400 galbeni kilogramul.

După pregătirea unui meniu care să mascheze gustul otrăvii, Lucreția a descoperit că e foarte strîmtoară cu galbenii. De fapt, dacă nu va fi foarte atentă, s-ar putea să nu aibă posibilitatea unei noi orgii cu otrăvuri în această lună. Așa că l-a chemat pe alchimist, un om foarte învățat și i-a expus problema. Alchimistul nu prea avea experiență în rezolvarea problemelor de acest fel, dar a fost în stare să transpună cele patru restricții sub forma unor enunțuri matematice:

$$(1) X + Y \leq 1/2$$

$$(2) 2X + Y \geq 1/2$$

$$(3) 75X + 200Y \geq 50$$

$$(4) 100X + 400Y = \text{cost}$$

Ajutați alchimistul să rezolve această problemă. Pedepsa în caz de eșec va fi o invitație la ospățul de luna viitoare.

2. O firmă fabrică trei produse x , y și z , din trei materiale p_1 , p_2 și p_3 . Cele trei produse folosesc trei materiale cu norme de consum conform următorului tabel:

Produs	p_1	p_2	p_3
x	2	0	3
y	3	2	2
z	0	5	4

Beneficiul pe unitate a produselor este:

Produs	Beneficiu
x	3 \$
y	5 \$
z	4 \$

Disponibilitățile celor 3 materiale sînt:

Material	Cantitate disponibilă (unități)
p_1	8
p_2	10
p_3	15

Determinați structura optimă a sortimentului producției.

3. O firmă fabrică patru produse v , x , y și z care parcurg patru secții: turnătorie, forje, prelucrări, montaj. Timpii în ore pe secții necesar pe unitate de produs sînt:

Produs	Turnare	Forjare	Strunjire	Montaj
v	3	0	3	4
x	7	2	4	6
y	4	4	0	5
z	0	6	5	3

Contribuția unitară a celor patru produse și orele disponibile în cele patru secții sînt :

Produs	Contribuție
x	9 \$
y	18 \$
z	14 \$
w	11 \$

Secție	Ore disponibile
Turnătorie	70
Forje	80
Prelucrări	90
Montaj	100

Determinați structura optimă a producției pe sortimente.

4. O companie minieră posedă două mine diferite care produc un anumit tip de minereu. După ce minereul este sfărîmat, el este sortat în trei clase după granulație fină, medie și mare.

Există o anumită cerere pentru fiecare sort de minereu. Compania minieră a încheiat un contract cu o topitorie angajîndu-se să furnizeze săptămînal 12 tone minereu granulație fină, 8 tone granulație medie și 24 tone granulație mare. Pentru a exploata prima mină, compania cheltuiește 200 \$ pe zi, iar a doua 160 \$ pe zi. Minele au capacități diferite, într-o zi de lucru prima mină produce 6 tone granulație fină, 2 tone medie și 4 tone mare, în timp ce a doua mină produce zilnic 2 tone minereu granulație fină, 2 tone medie și 12 tone mare. Cîte zile pe săptămîină ar trebui să lucreze mina pentru a realiza cît mai economic comenzile firmei ? (Sugestie : notați cu x numărul de zile pe săptămîină lucrate de mina 1 și cu y numărul de zile pe săptămîină lucrate de mina 2. Rezolvați printr-o metodă grafică).

5. O companie vinde două produse A și B. Prețul de vînzare și informațiile despre costurile variabile sînt următoarele :

	Produs A	Produs B
Preț vînzare	60	40
Cost variabil	30	10
Contribuție	30	30

Cele două produse sînt fabricate într-un proces de producție comun și sînt vîndute pe două piețe diferite. Procesul de producție are o capacitate de 30 000 om/ore. Pentru a produce o unitate din A sînt necesare 3 ore, iar pentru o unitate din B o oră. Piețele au fost studiate și specialiștii firmei cred că numărul maxim de unități din produsul A care pot fi vîndute este de 8 000 ; numărul maxim pentru B este de 12 000 unități. Ținînd seama de aceste limite, produsele pot fi vîndute în orice combinație.

a) Formulați problema de mai sus ca o problemă simplex de programare lineară, adică scrieți ecuațiile necesare.

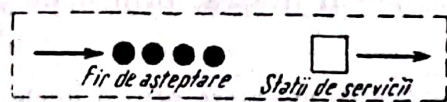
b) Rezolvați problema prin metode grafice.

Bibliografie

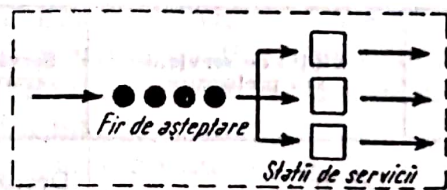
- [1] Bertolotti, M. E., J. Chapiro, H. R. Rieznik. „Optimization of Investment—A Solution by Linear Programming.” *Management Technology*, (1), 64—75, Jan. 1960.
- [2] Buffa, E. S. *Operations Management: Problems and Models* (2nd ed.). John Wiley, New York, 1968.
- [3] Charnes, A., W. W. Cooper, *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming* (2 Volumes). John Wiley, New York, 1961.

Fire de așteptare

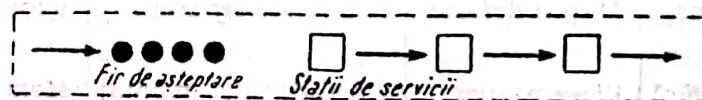
Primele lucrări de teoria firelor de așteptare sau teoria cozilor au fost făcute de către A. K. Erlang, un inginer telefonist danez. Erlang și-a început cercetările în 1905 printr-o încercare de determinare a efectelor cererilor fluctuante de servicii (sosiri) asupra utilizării echipamentelor automatizate în telefonie. Abia către sfârșitul celui de al II-lea război mondial



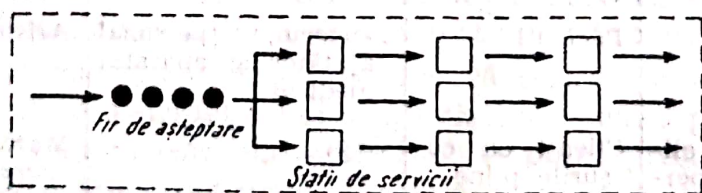
a) Cazul un singur canal, o singură fază



b) Cazul multi-canal, o singură fază



c) Cazul un singur canal, multi-fază



d) Cazul multi-canal, multi-fază

Fig. C.1. Patru structuri fundamentale ale situațiilor cu fire de așteptare,

lucrurile privind modelele de fire de așteptare s-au extins și la alte tipuri de probleme. Astăzi o mare varietate de situații din domenii aparent diferite sînt recunoscute ca fiind descrise printr-un model general cu fire de așteptare. În toate cazurile, avem o intrare care sosește la o anumită stație

pentru serviciu sau prelucrare. Intervalul dintre sosirea intrărilor individuale la stația de serviciu este de obicei aleator. În mod similar timpul pentru servicii sau prelucrare este de obicei o variabilă aleatoare. Tabelul C.I prezintă elementele unui model de așteptare pentru un număr de situații uzuale.

Sînt patru structuri de bază ale situațiilor de fire de așteptare care descriu condițiile generale la stația de serviciu. Cea mai simplă situație este aceea cînd sosesc unități de pe un singur fir pentru a fi servite de o singură stație de prelucrare, cum este de exemplu o frizerie cu un frizer. Acesta este numit caz cu un singur canal și o singură fază. Dacă se mărește numărul de stații de prelucrare (doi sau mai mulți frizeri), dar se menține un singur fir de așteptare, avem cazul canal multiplu — o singură fază, deoarece un client poate fi servit de oricare din frizeri. O linie de montaj simplă are un număr de stații de serviciu în serie sau în tandem, reprezentînd cazul un singur canal — fază multiplă. În fine, avem și cazul canal multiplu — fază multiplă care poate fi ilustrat prin două sau mai multe

Tabel C.I. Elemente ale modelului de fire de așteptare pentru unele situații frecvent întîlnite

	Unitatea care sosește	Stația de serviciu sau prelucrare	Serviciul sau prelu- crarea ce se execută
Vapoare intrînd în- tr-un port	Vapoare	Docuri	Descărcare și încărcare
Intreținere și repara- ții mașini	Mașini defecte	Echipă de reparații	Reparare mașină
Linie de montaj fără tact mecanizat	Piese pentru asamblare	Operații de montaj individuale sau în- treaga linie	Montaj
Cabinet medical	Pacienți	Doctorul, personal ajutător și aparataj medical	Asistență medicală
Cumpărarea de ali- mente la un super- magazin	Clienți cu co- șurile pline	Casa	Marcarea pe bon, pu- nerea banilor, îm- pachetarea alimen- telor
Trafic auto la o inter- secție sau pe un pod	Automobile	Intersecție sau pod cu puncte de control (semafoare sau ghi- șee de încasare a ta- xei)	Trecerea prin inter- secție sau peste pod
Stocul de articole în- tr-o magazie	Bon de mate- riale	Magazia	Împrospătarea sto- cului

linii de producție paralele. Figura C.1 prezintă cele patru cazuri sub forma unor diagrame. Variațiile în cele patru structuri de bază pot apare în ce privește disciplina cozii, adică în ordinea în care intrările sînt scoase din firul de așteptare. În diagrame am folosit o disciplină de tipul primul sosit — primul servit, dar, evident, se pot folosi sisteme de prioritate. De asemenea, pot exista combinații ale structurilor de bază.

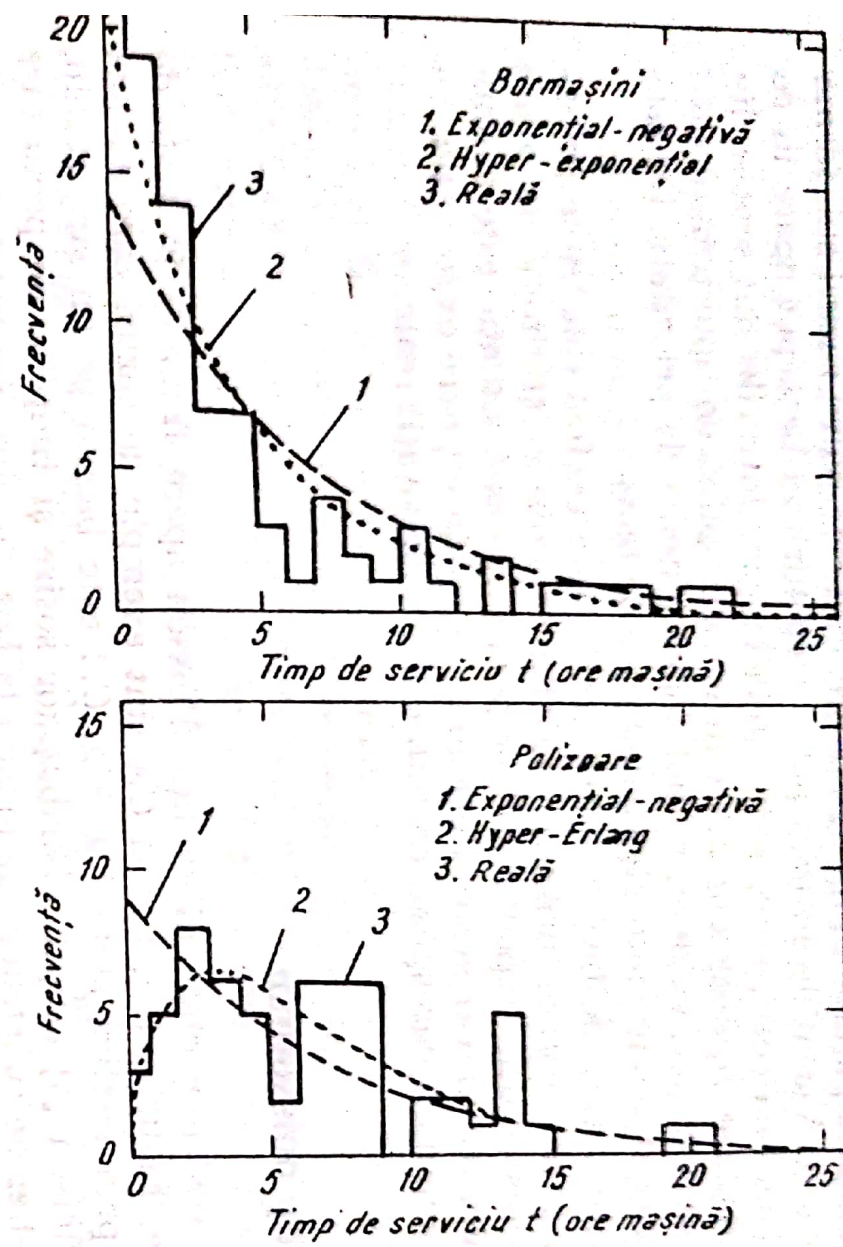
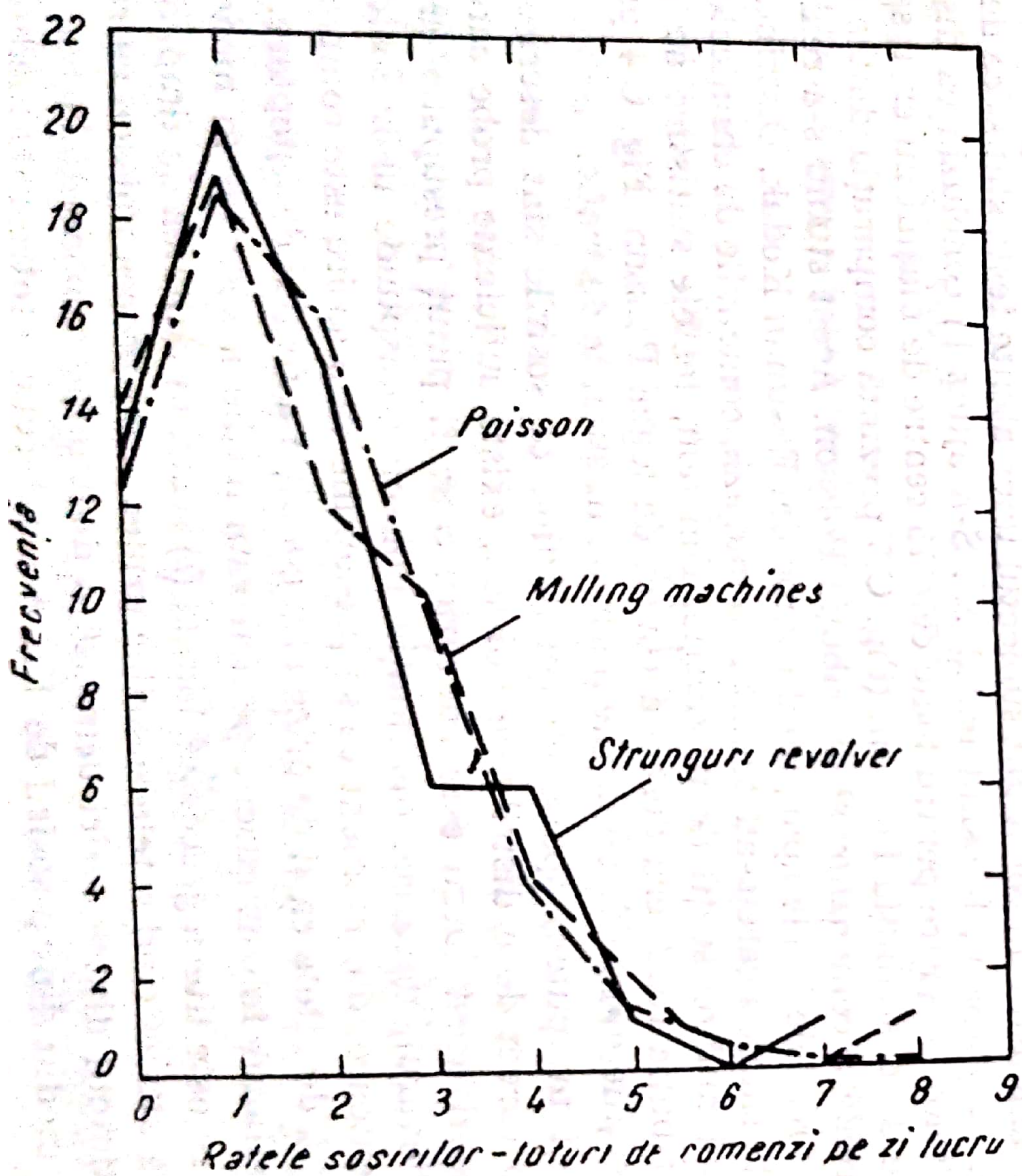
Modelele uzuale de bază cu fire de așteptare au fost construite presupunînd că *baza sosirilor* urmează distribuția Poisson și timpii de sosire urmează o distribuție exponențială negativă. Această situație este desemnată de obicei ca un caz sosire Poisson — timp de reținere exponențial. — Aceste presupuneri corespund de multe ori unor situații reale.

Sosiri de tip poissonian

Legea sosirilor după distribuția Poisson apare frecvent în viața de toate zilele. Figurile C.2, C.3 și C.4 sînt exemple de cazuri care au fost verificate prin analiză statistică. Fig. C.2 este bazată pe un larg studiu, făcut de Nelson [6] asupra distribuțiilor sosire și timpilor de prelucrare într-un atelier de construcții de mașini la Los Angeles. S-a listat frecvența sosirilor comenzilor de lucru la 15 centre de mașini pentru o perioadă de 3 luni. Fig. C.2 prezintă graficele pentru două grupe de mașini, comparate cu distribuția Poisson teoretică. Distribuțiile pentru întregul set de 15 centre de mașini au constituit subiectul unor atente teste statistice de comparație cu Poisson, folosind testul X^2 . S-a ajuns la concluzia că distribuțiile ratelor de sosire pentru toate cele 15 centre de mașini nu erau sensibil diferite de distribuția Poisson. (Fig. C.3 prezintă comparația dintre distribuția reală a comenzilor și distribuția Poisson. Acest studiu s-a realizat la Uzinele Kodale Parle aparținînd companiei Eastman Kodak. Distribuția reprezintă rata cu care s-au primit la o magazie comenzile de chimicale necesare mai multor secții de producție. Din nou, testele statistice au indicat că distribuția reală era descrisă corect de legea Poisson. Fig. C.4 prezintă comparațiile dintre distribuțiile normale în studiile de trafic.

Deși nu putem spune cu certitudine că sosirile sînt descrise întotdeauna corect de o distribuție Poisson, există suficiente probe care arată că deseori acest lucru este adevărat. S-ar fi putut presupune că acesta este adevărul, deoarece distribuția Poisson corespunde unor sosiri complet aleatoare, din moment ce se presupune că o sosire este complet independentă de altele ca și de orice altă condiție a firului de așteptare.

Simbolul folosit curent pentru rata medie a sosirilor în modelele de așteptare este litera grecească lamda (λ) sosiri în unitatea de timp. Se poate arăta că atunci cînd ratele sosirilor urmează un proces Poisson cu rata medie λ , timpul dintre sosiri urmează o distribuție exponențială negativă cu timpul mediu dintre sosiri de $1/\lambda$. Această relație între rata medie și tim-



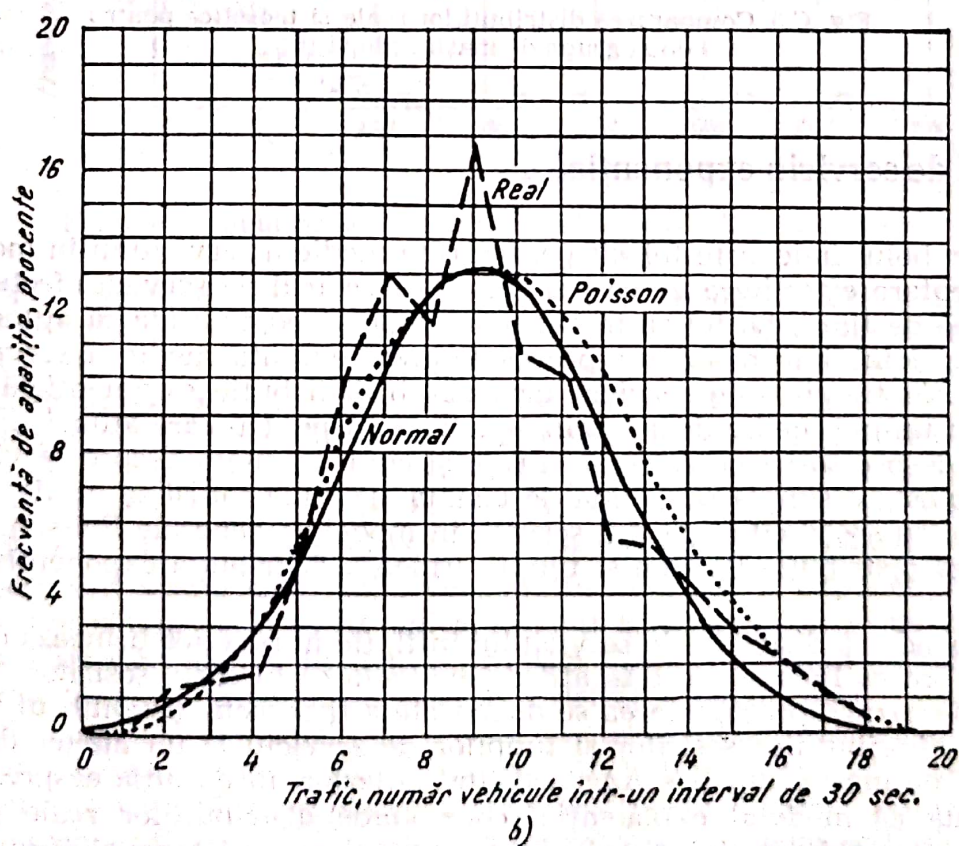
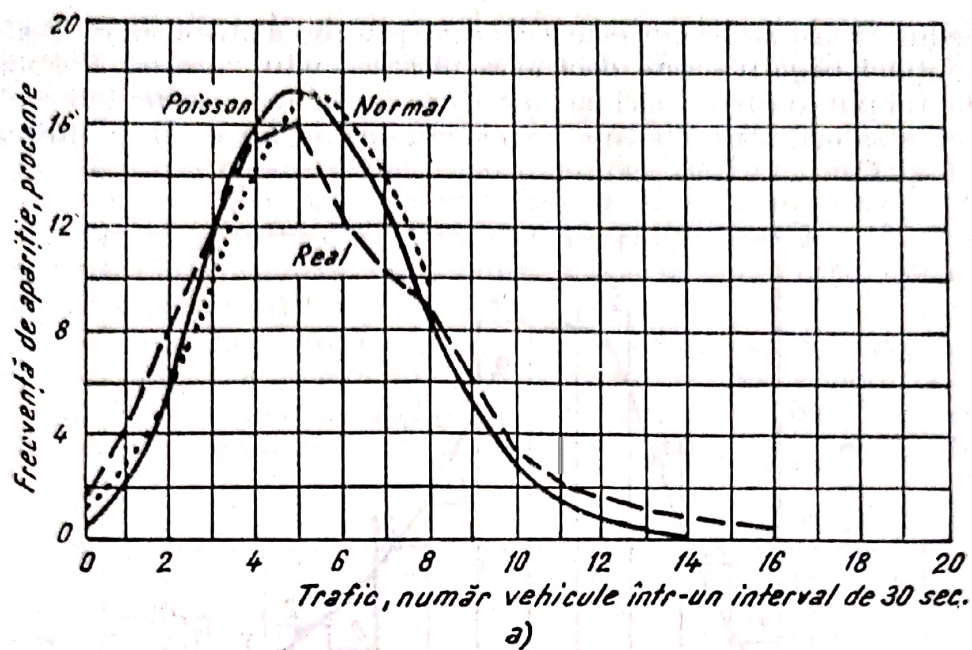


Fig. C.4. Rate ale sosirilor în studii de trafic (după [3]).

pul mediu dintre sosiri nu este generală tuturor distribuțiilor. Distribuția exponențială negativă este deci caracteristică unui proces Poisson, dar descrie timpul dintre sosiri și specifică faptul că aceste intervale sînt complet aleatorii. Distribuțiile exponențiale negative sînt ilustrate în fig. C.5 și C.6.

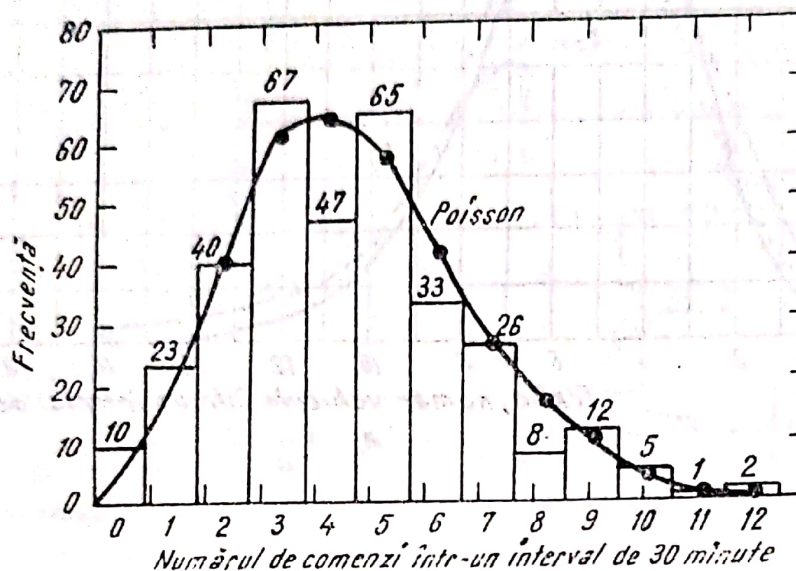


Fig. C.5. Compararea distribuțiilor reale și teoretice pentru două grupe de mașini (după [6]).

Timpi de serviciu exponențial

Simbolul indeobște folosit pentru rata medie a serviciului în modelele de așteptare este litera grecească miu (μ) numărul de servicii efectuate în unitatea de timp. La fel ca în cazul sosirilor se poate arăta că atunci când rata serviciului urmează un proces Poisson cu rata medie a serviciului, distribuția timpilor de serviciu urmează o distribuție exponențială negativă, cu timpul mediu de serviciu $1/\mu$. Motivul pentru care atunci când discutăm despre sosiri ne referim la rate și când discutăm despre serviciu — la timp este o simplă problemă de uzanță. Trebuie totuși să ne fie clar că atât pentru sosiri cât și pentru servicii în modelele generale Poisson, ratele urmează distribuția Poisson și timpii urmează distribuția exponențială negativă.

Dovada că distribuțiile serviciului întâlnite în practică urmează de obicei un proces Poisson nu este atât de evidentă ca în cazul sosirilor. Totuși, în unele cazuri, presupunerea se dovedește a fi corectă. Studiul lui Nelson asupra distribuțiilor sosirilor și timpilor de serviciu la un atelier de construcții de mașini din Los Angeles, citat anterior, în discuția despre sosiri, nu arată că modelul exponențial corespunde distribuțiilor reale pentru toate centrele de mașini. Numai la strungurile carusel freze și mașinile de găurit, distribuțiile timpilor de serviciu păreau a fi descrise adecvat de

exponențială negativă. În general, cazurile în care opoteza exponențială a fost rezonabilă, au fost la centrele de mașini cu timpul mediu de prelucrare cel mai mare.

Studiul lui Nelson a arătat că alte distribuții matematice ca cea hiper-exponențială și cea hiper-Erlang constituiau descrieri mai bune ale distribuțiilor reale. Fig. C.5 prezintă distribuțiile și curbele corespunzătoare pentru bormașini și piese de forjat. O comparație vizuală arată că distribuția exponențială negativă nu asigură o concordanță prea bună, lucru indicat și de analiza statistică.

Alte dovezi arată că, în unele cazuri, distribuția exponențială negativă este adecvată. Fig. C.6 de exemplu, arată că timpul de serviciu la un atelier de sculărie era distribuit aproape exponențial. Durata convorbirilor telefonice locale care nu se fac de la un post cu plată s-a dovedit a fi exponențială.

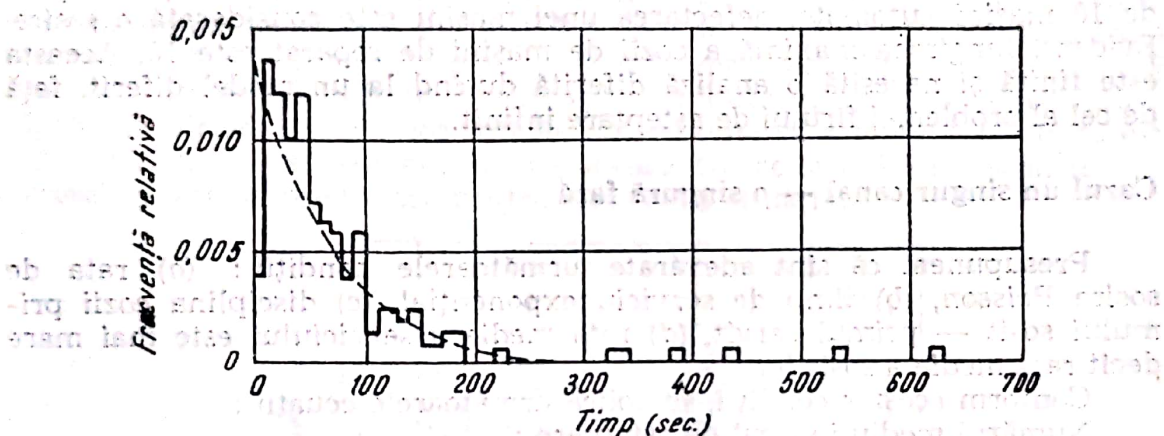


Fig. C.6. Timpul de servire la un atelier de sculărie (după [1]).

Ca o concluzie a discuției noastre, putem spune că fără o verificare atentă nu putem asuma distribuțiile serviciului ca fiind descrise de un proces Poisson. Ne putem aștepta ca în unele cazuri exponențială negativă să se potrivească, dar în multe altele s-a dovedit că timpii de serviciu sînt aproximați de niște distribuții unimodale, de obicei asimetrice pozitiv.

În acest moment ne putem pune întrebarea de ce e important să stabilim validitatea distribuțiilor Poisson și exponențial negativă. Răspunsul este că acolo unde presupunerea este corectă, formulele pentru firele de așteptare sînt destul de simple. Distribuțiile Poisson și exponențial negativă au un singur parametru, adică ele sînt complet descrise de un parametru, care este media. Pentru distribuția Poisson deviația standard este rădăcina pătrată a mediei, iar pentru distribuția exponențial — negativă, deviația standard este egală cu media. Ca urmare, derivările matematice și formulele rezultante nu sînt complexe. Acolo unde presupunerea respectivă nu este corectă, dezvoltarea matematică poate fi destul de complexă, sau va trebui să recurgem la alte tehnici de rezolvare cum ar fi simularea. Aceste tehnici vor fi discutate anterior, obiectivul nostru prezent îl consti-

tuie modelele de fire de așteptare bazate pe procesul Poisson pentru sosiri și serviciu, această este situația denumită uzual rate de sosire Poisson și timpi de întârziere exponențiali.

Modele cu fire de așteptare infinite

Trebuie făcută acum o altă distincție în clasificarea modelelor cu fire de așteptare, între situațiile în care coada trebuie, poate deveni teoretic rafinată și cele în care lungimea ei maximă este finită. În practică, vom aplica modelele cu fire de așteptare infinite acolo unde numărul de fir poate crește foarte mult. În fig. C.4 se poate vedea că rata medie ridicată a sosirilor de 1100 automobile pe oră implică posibilitatea unui fir de așteptare foarte mare. În contrast, considerați cazul întreținerii unui grup de 10 mașini automate, defectarea unei mașini este considerată o sosire. Evident, lungimea maximă a cozii de mașini de reparat este 10. Aceasta este finită și necesită o analiză diferită ducând la un model diferit, față de cel al problemei firului de așteptare infinit.

Cazul un singur canal — o singură fază

Presupunem că sînt adevărate următoarele condiții: (a) rata de sosire Poisson, (b) timp de serviciu exponențial, (c) disciplina cozii primului sosit — primul servit, (d) rata medie a serviciului este mai mare decît rata medie a sosirilor.

Conform acestor condiții, se aplică următoarele ecuații:

Numărul mediu în firul de așteptare:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (c.1)$$

Număr mediu în sisteme, inclusiv cel în curs de servire:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (c.2)$$

Timp mediu de așteptare:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{L_q}{\lambda} \quad (c.3)$$

Timpul mediu în sistem inclusiv serviciul:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{L}{\lambda} \quad (c.4)$$

Probabilitatea de n unități aflate în sistem:

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \quad (c.5)$$

La prima vedere s-ar părea că diferența între numărul mediu în sistem și numărul mediu în firul de așteptare ($L - L_q$) ar trebui să fie 1, fiecare unitate fiind servită. Totuși, o verificare a formulelor arată că

aceasta nu este adevărat, diferența este mai mică decât 1. O scurtă analiză arată motivul în mod intuitiv. Citeodată datorită caracterului aleator al sosirilor și a timpilor de serviciu stația de serviciu este neocupată, astfel ca numărul mediu în curs de servire pe unitatea de timp este mai mic decât 1. Observați, de asemenea, că diferența dintre timpul mediu în sistem și timpul mediu de așteptare ($W - W_q$) este pur și simplu timpul mediu de serviciu.

Raportul între rata medie a sosirilor și rata medie a serviciului oferă un indice de utilizare a stației de serviciu. Acest raport se numește factor de utilizare și se notează cu litera grecească ρ (ρ). Dacă cele două rate sînt egale, $\rho = 1$, teoretic, stația de serviciu ar putea fi utilizată 100% din timp. Dar să vedem ce se întîmplă în realitate cu coada cînd variază de la 0 la 1. Fig. C.7 sintetizează rezultatele calculării lui L_q pentru diferite valori ale lui ρ . Cu cît ρ se apropie de 1 numărul de unități în așteptare crește rapid și tinde spre infinit. Putem vedea că aceasta este adevărat și examinînd ecuațiile C.1, C.2, C.3 și C.4. În toate cazurile, $\mu - \lambda$ apare al numitor. Cînd λ și μ sînt egale, $\mu - \lambda$ este zero, valorile pentru L , L_q , W sau W_q devenind infinite. În situațiile întîlnite în practică aceasta nu se întîmplă niciodată deoarece sosirile pot renunța să aștepte dacă coada este deja foarte lungă, sau cineva acționează fie reducînd rata sosirilor, fie crescînd rata de prelucrare pentru a remedia situația.

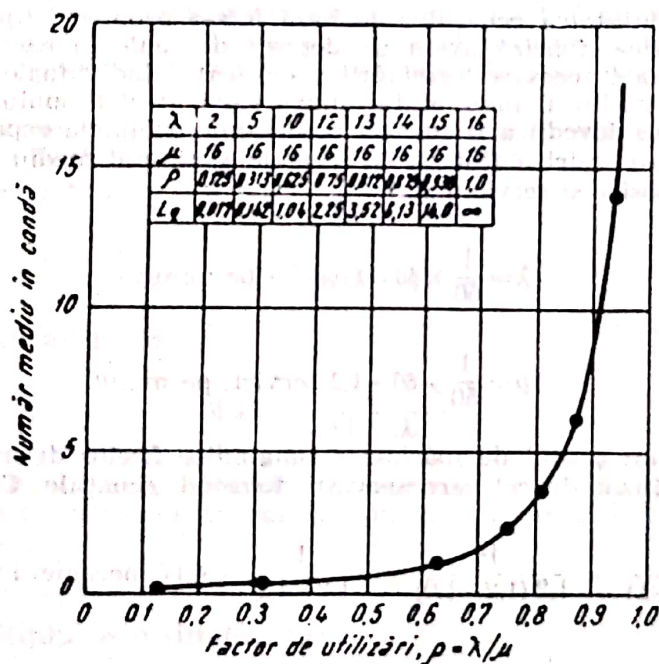


Fig. C.7. Relația dintre lungimea cozii și factorul de utilizare ρ .

Apare acum una din cerințele oricărui sistem real: μ trebuie să depășească întotdeauna valoarea lui λ , în caz contrar nu putem avea un sistem stabil. Dacă unitățile sosesc mai repede decât media cu care pot fi prelucrate, firul de așteptare va crește în continuu și nu se va atinge o stare de echilibru.

Atunci cînd condițiile de sosire și rate de serviciu sînt de așa natură încît lungimea medie a firelor de așteptare este în creștere, cum se arată în fig. C.7, putem deduce că probabilitatea ca stația de serviciu să fie liberă devine destul de mică. Ecuația C.5. ne permite să calculăm relativ ușor această probabilitate. Probabilitatea de 0 unități în sistem (stație de serviciu liberă). P_0 este

$$P_0 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0$$

și, deoarece $(\lambda/\mu)^0 = 1$

$$P_0 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = (1 - \rho)$$

Aceasta este probabilitatea ca stația de serviciu să fie liberă și ne verifică intuiția că procentul de utilizare a stației plus procentul de ne-utilizare trebuie să fie 100%.

Exemplu

Vom ilustra utilitatea ecuațiilor de bază într-o problemă tipică de decizie. Să presupunem că într-o fabrică avem un depozit de scule în care mecanicii vin să ridice sculele speciale necesare terminării unor lucrări individuale ce le-au fost atribuite. Se face un studiu al intervalului dintre sosiri și al timpului de serviciu. Ambele distribuții s-au dovedit a fi adecvat descrise de o funcție exponențială negativă. Timpul mediu între sosiri a fost de 60 secunde și timpul mediu de serviciu 50 secunde. Ratele de sosire și serviciu sînt:

$$\lambda = \frac{1}{60} \times 60 = 1 \text{ sosire pe minut}$$

$$\mu = \frac{1}{50} \times 60 = 1,2 \text{ servicii pe minut}$$

Să determinăm gradul de mărime a lungimilor firelor de așteptare și procentul de timp neutilizat de cel care servește folosind ecuațiile C1, C2, C3, C4, C5.

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{1^2}{1,2(1,2 - 1,0)} = \frac{1}{1,2 \times 1,2} = 4,17 \text{ mecanici în fir}$$

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1,2 - 1,0} = 5 \text{ mecanici la rînd inclusiv mecanici care e servit}$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{1}{1,2(1,2 - 1,0)} = \frac{1}{1,2 \times 1,2} = 4,17 \text{ minute/mechanic}$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1,2 - 1,0} = 5 \text{ minute timp de așteptare, inclusiv serviciul}$$

$$\text{Timp neutilizat} = 1 - \rho = 1 - \frac{1}{1,2} =$$

= 0,1667 sau 16,67% din timp neutilizat al celui care servește.

Dacă cel ce servește este plătit cu 2 \$ pe oră și mecanicii cu 4 \$ pe oră, ce politică de serviciu ar trebui stabilită? Ce funcție de cost dorim să minimizăm? Dacă mărim numărul de magazioneri, firul de așteptare și timpul de așteptare a mecanicilor se va reduce, dar va crește timpul neutilizat al celor care servesc. Prin urmare, dorim să determinăm numărul de magazioneri care va minimiza costul combinat al timpului neutilizat al magazionerilor plus costul timpului de așteptare a mecanicilor. Pentru un magazioner, costul timpului neutilizat este:

$$8 \times 0,1667 \times 2,00 = 2,67 \$ \text{ pe zi}$$

Dacă mecanicii sosesc 1 pe minut, într-o zi de 8 ore sînt serviți 480 și costul zilnic al timpului de așteptări este:

$$480 (\text{timp de așteptare pe mecanic în ore}) (\text{plata orară}) =$$

$$= 480 \times \frac{W_q}{60} \times 4,00 = 480 \times \frac{4,17}{60} \times 4,00 = 133,50 \$/\text{zi}.$$

Evident, folosind un magazioner, includem un cost al timpului de așteptare foarte mare $\left(33 \frac{1}{3} \text{ ore/zi}\right)$ în raport cu costul timpului nefolosit al magazionerului, ceea ce va justifica folosirea mai multor magazioneri pentru a mări rata efectivă a serviciului. Dar, înainte de a putea continua analiza, trebuie să avem informații despre situația următoare ca dificultate, pentru că dacă adăugăm un al doilea, al treilea, sau al patrulea magazioner vom avea de-a face cu situația canal multiplu — o singură fază.

Timpul de serviciu constant modifică numai în mică măsură formulele pentru numărul mediu din firul de așteptare. Noile formule sînt:

Număr mediu în firul de așteptare

$$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} \quad (C.6)$$

Timp mediu de așteptare

$$W_q = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)} \quad (C.7)$$

Deși timpul de serviciu constant nu reprezintă o situație obișnuită în aplicațiile reale, el este utilizabil în cazurile în care o mașină prelucrează articole într-un ciclu fix.

Cazul canal multiplu — o singură fază

În cazul cu canal multiplu, presupunem aceleași condiții sosiri Poissonieri, timp de serviciu exponențial, și o disciplină a cozii primul venit — primul servit. Rata de serviciu efectivă $M\mu$ trebuie să fie mai mare decît rata sosirilor λ , unde M este numărul de canale. Ecuațiile de regim staționar care rezultă pentru cazul canal multiplu sînt destul de complexe în comparație cu cazul unui singur canal. Deducerea ecuațiilor pentru cazul canal multiplu poate fi găsită în bibliografie [3] [8].

Pentru a prezenta efectele canalelor multiple, s-au construit fig. C.8 și C.9. Din prima putem obține L_q și W_q ; iar din a doua putem determina L și W . Folosind fie fig. C.8, fie fig. C.9 putem calcula factorul de utilizare $\lambda/M\mu$ unde M este numărul de canale și λ și μ sînt ratele sosirilor Poisson și ratele de serviciu, ca și înainte.

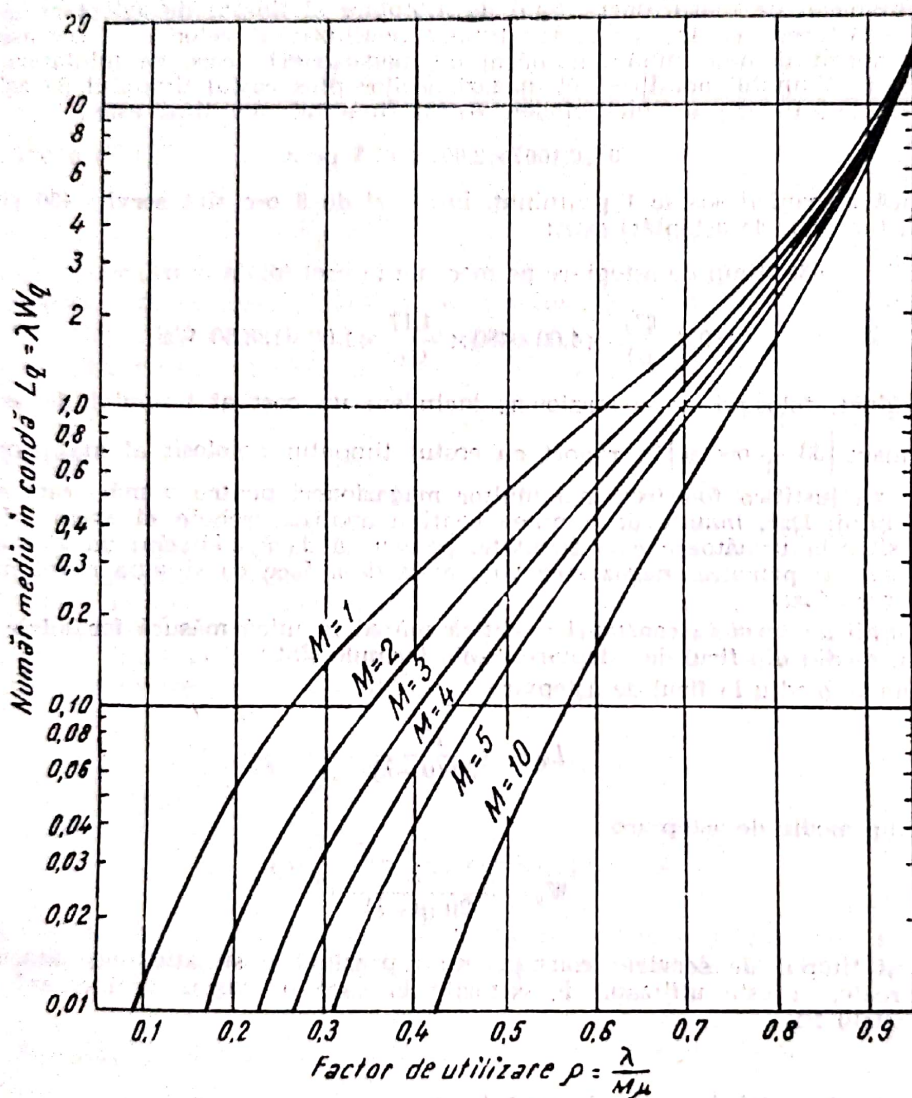


Fig. C.8. Variația lui L_q (număr mediu în coadă), pentru diferite valori ale lui M , în funcție de factorul de utilizare ρ . $L_q = \lambda W_q$.

Rata de serviciu μ este rata la fiecare stație de serviciu, iar rata de serviciu efectiv total pentru sistem este $M\mu$. Folosind fig. C.8 de exemplu, dacă $\lambda = 10/\text{oră}$; $\mu = 4/\text{oră}$; $M = 5$ $\rho = 10/(5 \times 4) = 0,5$. Din fig. C.8 $L_q = \lambda W_q = 0,14$ unități în firul de așteptare. Dacă $\lambda = 10$, $W_q = 0,14/10 = 0,014$ ore. Fig. C.9 va fi folosită în mod similar pentru determinarea lui L și W .

Efectul creșterii numărului de canale. Pentru a compara efectele creșterii numărului de canale, este utilă trasarea curbelor pentru lungimile firelor și timpii de așteptare în raport cu factorul de utilizare, care poate fi acum generalizat ca $\rho = \lambda / M\mu$ unde M este numărul de canale. Figurile C.8 și C.9 prezintă lungimile firului și timpii de așteptare pentru $M=1, 2, 3, 4, 5$ și 10 . Dacă, spre exemplu, sîntem în situația cînd $\rho=0,9$ pentru cazul unui singur canal, atunci, conform fig. C.8., L_q este aproximativ 8. Adăugînd al doilea canal, factorul de utilizare se reduce la $\rho=0,9/2=0,45$, care, conform fig. C.8 conduce la un $L_q=0,23$. Efectele sînt surprinzător de mari: cu alte cuvinte, putem obține cîștiguri disproporționale în timpii de așteptare prin creșterea numărului de canale.

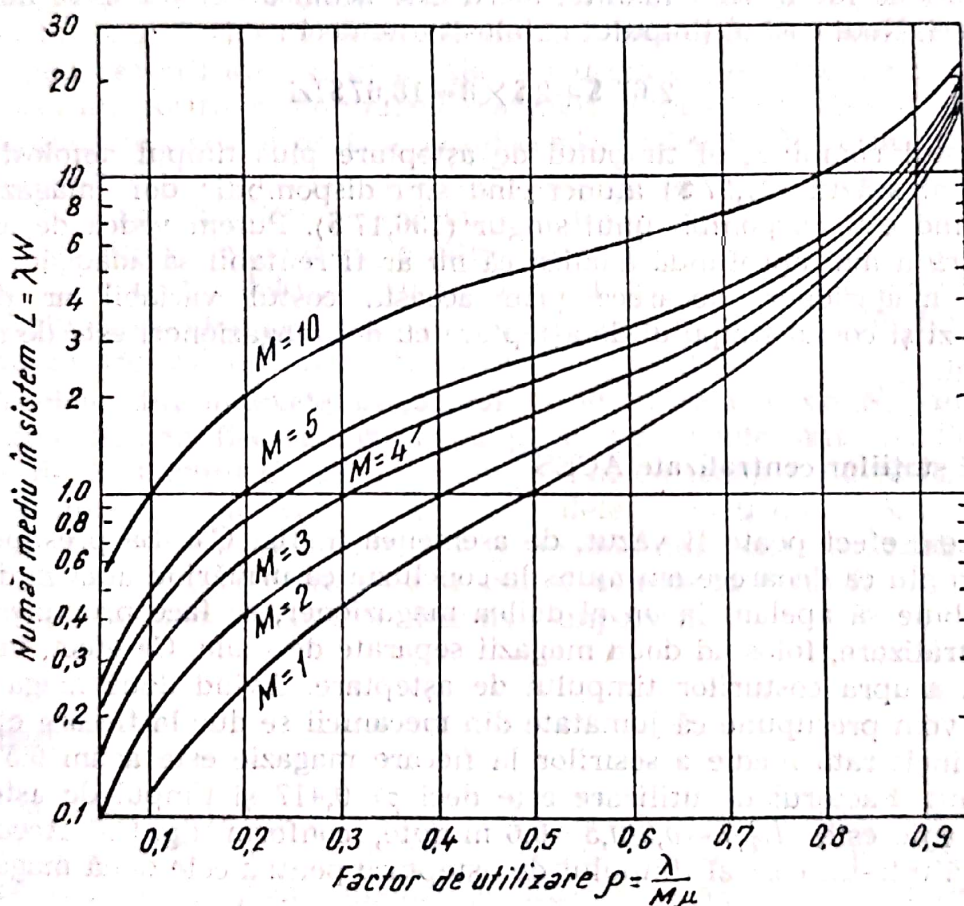


Fig. C.9. Variația lui L (numărul mediu în coadă), pentru diferite valori ale lui M , în funcție de factorul de utilizare $\rho = \lambda / M\mu$.

portionate în timpii de așteptare prin creșterea numărului de canale. Ca aceasta este adevărat în parte, deducem intuitiv din fig. C.7 pentru că lungimea cozii și timpul de așteptare încep să crească foarte repede la $\rho=0,8$. O creștere relativ mică în capacitatea sistemului (descreștere a lui) la aceste solicitări mari, poate deduce o scădere importantă în lungimea firului și a timpului de așteptare.

Să ne întoarcem acum la exemplul magaziei de scule. Dacă ar fi fost adăugat un al doilea magazioner, factorul de utilizare devenea $\rho = 1/(2 \times 1,2) = 0,417$, de unde înainte era 0,833. Citind valorile aproximative din curbele din fig. C.8, $L_q = 0,175$ și $W_q = 0,175/\lambda = 0,175/1 = 0,175/1 = 0,175$ minute pe mecanic. Costul timpului de așteptare a mecanicilor e redus acum la

$$480 \times \frac{0,175}{60} \times 4 = 5,60 \text{ \$/zi.}$$

Timpul nefolosit al magazionerilor a crescut cu 8 ore. Deși nu este mai mult de lucru decât înainte, lucru este acum distribuit între doi magazioneri. Noul cost al timpului nefolosit este deci :

$$2,67 \$ + 2 \$ \times 8 = 18,67 \text{ \$/zi}$$

Costul combinat al timpului de așteptare plus timpul nefolosit este mult mai scăzut (24,27 \$) atunci când sînt disponibili doi magazioneri decât cînd este disponibil unul singur (136,17 \$). Putem vedea de asemenea, fără a mai aprofunda analiza că nu ar fi rentabil să adăugăm un al treilea magazioner, deoarece prin aceasta costul variabil ar deveni 16,00 \$/zi și costul timpului de așteptare cu doi magazioneri este de numai 5,60 \$/zi.

Efectul stațiilor centralizate ACES

Acest efect poate fi văzut, de asemenea în fig. C.8. Să presupunem, de exemplu că deoarece am ajuns la concluzia că urmărind analiza de mai sus trebuie să apelăm la un al doilea magazioner, se face propunerea de descentralizare, folosind două magazine separate de scule. Ce efect, va avea aceasta asupra costurilor timpului de așteptare. Avînd două magazine separate vom presupune că jumătate din mecanicii se duc la fiecare din ele. Astfel încît rata medie a sosirilor la fiecare magazie este acum 0,5 sosiri pe minut. Factorul de utilizare este deci $\rho = 0,417$ și timpul de așteptare pe mecanic este $L_q/\lambda = 0,3/0,5 = 0,6$ minute, conform fig. C.8. Aceasta se exprimă într-un cost al timpului de așteptare pentru cele două magazine de

$$\frac{0,6}{60} \times 480 \times 4 = 19,20 \text{ \$/zi.}$$

Comparația cu 5,60 \$, restul timpului de așteptare pentru o singură stație cu doi magazioneri, este edificatoare. O singură stație mare poate realiza un serviciu mai bun decât un număr echivalent de stații mici. Aceasta se aplică, desigur, numai la costurile timpului de așteptare. În cazul magaziei de scule, o stație centralizată ar avea și alte avantaje și dezavantaje economice cum ar fi reducerea investiției totale în scule și creșterea timpului de transport pe mecanici.

Modele cu fire de așteptare finite

Multe probleme practice de fire de așteptare care apar în sistemele de producție au caracteristic de modele finite. Aceasta se întâmplă ori de câte ori populația de mașini, oameni sau articole care pot sosi pentru serviciu este limitată la un număr finit relativ mic. Rezultatul este că va trebui să exprimăm sosirile printr-o unitate a populației și nu printr-o rată medie. Sosirile vor fi deci exprimate ca sosiri pe unitatea de timp pe element din populație.

În cazul firelor de așteptare infinite lungimea medie a firului de așteptare este efectiv independentă de numărul populației, care sosește pe cînd în cazul firelor de așteptare finite mărimea cozii poate reprezenta un procent semnificativ al populației, ca urmare sînt afectate probabilitățile asociate sosirilor. Formulele matematice care rezultă sînt într-un fel mai greu de calculat decît în cazul cozilor infinite. Din fericire, totuși, sînt disponibile tabele de cozi finite (7) care fac ca soluționarea problemei să fie foarte simplă. Deși nu există un număr precis pe care să-l putem indica drept linie, de demarcație între aplicațiile finite și infinite, tabelele de cozi finite conțin date pentru populații de la 4 la 250 elemente, și pot fi utilizate ca un ghid general. Tabelele se bazează pe un model finit pentru timpii între sosiri și timpii de serviciu exponențiali.

Tabelele sînt indexate în primul rînd în funcție de N , mărimea populației. Pentru fiecare mărime a populației datele sînt clasificate în funcție de X , factorii de serviciu (comparabil cu factorul de utilizare din cozile infinite) M numărul de canale paralele. Pentru un N , X și M dați în tabele se listează doi factori: D (probabilitatea unei amînări, adică probabilitatea unui serviciu de a trebui să aștepte și F (în factori de eficiență folosit pentru calcularea altor date importante.

Rezumat

Modelele cu fire de așteptare sînt printre cele mai utilizate metode cantitative în zilele noastre. Ipotezele uzuale de sosiri Poisson și timpii de reținere exponențiali, sînt plauzibile într-un număr destul de mare de cazuri. În multe cazuri în care acestea nu sînt adecvate, apare o situație neomogenă care combină două sau mai multe condiții de bază; de exemplu, timpii de serviciu pentru o secție de prese de ștanțat, unde se execută atît activitate de reparații (comenzi foarte mici) cît și activitate de producție (comenzi mari). Într-un asemenea caz distribuția care rezultă pentru timpii de serviciu reflectă în realitate două distribuții de bază.

Trebuie notat că nu am tratat nici unul din cazurile cu faze multiple, situații implicînd distribuții de sosire și/sau serviciu diferite de distribuția Poisson și discipline ale cozii diferite de primul sosit — primul servit.

S-a considerat că aceste structuri mai complexe sînt cele mai bine rezolvate prin tehnica simulării pe calculator. De asemenea, datorită lucrărilor lui P. M. Morse 5 și a altora, există un volum considerabil de informații despre problema întreținerii mașinilor.

Întrebări recapitulative

1. Definiți și comparați cele patru structuri posibile ale situațiilor de fire de așteptare. Sugerați un exemplu fizic pentru fiecare.
2. Dacă ratele de sosire urmează distribuția Poisson, care va fi distribuția intervalelor dintre sosiri?
3. Ce dovadă există că ratele de sosire în situațiile reale urmează într-adevăr distribuția Poisson?
4. Ce dovadă există că timpii de serviciu urmează în situațiile de prelucrare reală o distribuție exponențială negativă?
5. Expuneți diferențele dintre modelele cu fire de așteptare finite și nefinite. Care este caracteristica ce marchează distincția între cele două tipuri de modele cu fire de așteptare?
6. De ce nu este adevărat că diferența dintre numărul mediu din sistem L și numărul mediu în firul de așteptare L_w este strict numărul de elemente în curs de servire?
7. Explicați în termeni fizici de ce firul de așteptare poate deveni infinit de lung cînd factorul de utilizare este 1?
8. Care sînt efectele centralizării stațiilor asupra costului timpului de așteptare?

PROBLEME

- 1) La o rampă sosesc camioane într-o manieră Poisson cu o rată de 8 pe oră. Distribuția timpului de servicii este bine aproximată printr-o exponențială negativă. Timpul mediu de serviciu este 5 minute.
 - (a) Calculați numărul mediu din firul de așteptare.
 - (b) Calculați numărul mediu din sistem.
 - (c) Calculați timpul mediu de așteptare.
 - (d) Calculați timpul mediu în sistem.
 - (e) Calculați probabilitatea ca în sistem să se afle 6 mutații.
 - (f) Calculați factorul de utilizare.
- 2) La o casă de bilete a unui teatru sosesc oameni cu o rată a sosirilor după distribuția Poisson de 25/oră. Timpul de serviciu este constant de 2 minute.
 - (a) Calculați numărul mediu din firul de așteptare.
 - (b) Calculați timpul mediu de așteptare.
 - (c) Calculați factorul de utilizare.
- 3) O companie de taxiuri are 4 taxiuri la o anumită stație. Ratele de sosire a clienților și ratelor de serviciu sînt distribuite Poisson. Rata medie a sosirilor este 10 pe oră. Timpul mediu de serviciu este de 20 minute.
 - (a) Calculați factorul de utilizare.
 - (b) Determinați utilizînd fig. C.8 numărul mediu în firul de așteptare.

- (c) Determinați folosind fig. C.9 numărul mediu în sistem.
 (d) Verificați răspunsurile la (b) și (c) cu formula

$$L = L_q + \lambda/\mu$$

- (e) Determinați timpul mediu de așteptare.
 (f) Determinați timpul mediu în sistem.

4) Folosind datele din problema 3:

(a) Care ar fi factorul de utilizare dacă numărul de taxiuri ar crește de la 4 la 5?

(b) Care ar fi efectul acestei schimbări asupra numărului mediu din firul de așteptare, determinat cf. fig. C.8?

5) O companie de transport auto are stații de încărcare-descărcare cu rate de sosiri și serviciu distribuite Poisson. Camioanele sosesc cu o rată de 10 pe oră iar rata de descărcare este de 2 camioane pe om/oră. Durata descărcării unui camion este invers proporțională cu numărul de muncitori descărcători. Stația de descărcare permite descărcarea concomitentă, fie a unui camion, fie a două camioane. Conform sistemului actual întreaga echipă lucrează la un camion pînă cînd acesta este complet descărcat. Fiecare om din echipă este plătit cu 2\$/oră. Costul unui camion cu șofer care așteaptă este estimat la 15\$/oră.

(a) Determinați numărul optim de muncitori pentru această stație de descărcare și costul mediu orar.

(b) Care ar fi efectul unei creșteri de 10% a ratei sosirilor asupra numărului optim de oameni? Dar asupra factorului de utilizare?

(c) Ce schimbare în costul mediu orar ar produce o împărțire a oamenilor în 2 echipe?

(d) Ce avantaje s-ar obține în urma unei asemenea împărțiri?

(e) Este o asemenea împărțire analoagă cu descentralizarea stațiilor așa cum a fost aceasta exemplificată în acest capitol?

6) Un salon de cosmetică dintr-un hotel are rate de sosire și de serviciu după un proces Poisson de 3 pe oră și respectiv, 1,25 pe oră. Cosmeticienele sînt plătite cu 1,75 \$ pe oră plus bacșișurile; lucrul pentru peste 40 ore pe săptămînă li se plătește cu o majorare de 50%. Profitul este în medie de 1\$ pe client. Cheltuielile fixe sînt de 100 \$ pe săptămînă și salonul funcționează 6 zile sau 48 ore pe săptămînă. Datorită concurenței, conducerea nu dorește ca clienții să aștepte în medie mai mult de 15 minute.

(a) Determinați numărul optim de cosmeticiene.

(b) Determinați profitul săptămînal.

(c) Analizați posibilitatea ca salonul să rămînă deschis o oră în plus pe seară, dacă cererea medie ar fi cu 10% mai mică decît cea normală.

(d) Cît poate salonul să-și permită să plătească pe săptămînă pentru reclamă, care ar crește volumul activității cu 5%?

7) Un automat pentru cafea eliberează o ceașcă pe minut. Clienții sosesc la fiecare 5 minute după un proces Poisson.

(a) Care este timpul mediu de așteptare pe persoane?

(b) Care este numărul mediu de oameni care vor aștepta să fie serviți?

8) La un aeroport sosesc avioane cu o rată medie de 1 la 2 minute (proces Poisson). Rata medie cu care se pot primi avioanele la aterizare și se eliberează pista este de 1 la fiecare 90 secunde.

(a) Care este timpul mediu de așteptare pe avion?

(b) Care este numărul mediu de avioane care așteaptă să aterizeze?

(c) Ce schimbări în (a) și (b) ar apare dacă rata de serviciu ar fi modificată la 25/oră?

9) O stenografă la o mare firmă de asigurări dactilografiază scrisori ce trebuie trimise deținătorilor de polițe. Timpul cînd trebuie trimise este aleator, fiind determinat de datele de vînzare a polițelor. Ca urmare, numărul de scrisori ce

trebuie trimise în cursul unei zile de 8 ore variază în mod considerabil. Un studiu a arătat că numărul de scrisori pe zi este în medie de 300 și distribuția urmează un proces Poisson. Analiza a relevat că timpul de prelucrare a unei scrisori era aproximativ constant cu un timp standard de 1,5 minute pe scrisoare.

(a) Care este intervalul de timp mediu din momentul primirii unei scrisori și momentul când aceasta este prelucrată?

(b) Care este în medie numărul de scrisori așteptând să fie prelucrate?

(c) Care ar fi efectul asupra răspunsurilor obținute la (a) și (b) dacă numărul mediu de scrisori ar crește cu 5%?

10) La o barieră pe o autostradă sosesc mașini cu o rată de 10 pe minut conform unui proces Poisson. Funcționarul poate elibera bilete cu o rată de 12 pe minut într-un mod care aproximează un proces Poisson.

(a) Care este lungimea medie a cozii?

(b) Care este timpul mediu de așteptare al unei meserii la barieră?

(c) Dacă funcționarul ar fi înlocuit de un automat, cu o rată de serviciu constantă de 12 pe minut, care ar fi răspunsurile la (a) și (b)?

11) Un doctor are mai mulți clienți decât poate satisface. În prezent el planifică sosirile pacienților la o rată medie de 1 la 15 minute. Modelul real al pacienților tinde să urmeze un proces Poisson. Rata medie de serviciu netă este de 1 pacient la 10 minute (proces Poisson). S-a propus o reamplasare a cabinetelor de consultații, utilizând un spațiu mai mare și făcând posibilă o pierdere de timp mai mică, ceea ce ar permite doctorului să crească rata medie a serviciului la 1 pacient la 6 minute. Dacă în medie, contribuția la cheltuielile generale și beneficiul este de 5 \$ pe vizită și doctorul nu dorește să mărească timpul mediu de așteptare pe pacient, care este schimbarea netă în contribuția orară la beneficiu și cheltuielile generale?

Bibliografie

- [1] Brigham, F. „On a Congestion Problem in an Aircraft Factory.” *Operations Research*, 3 (4), 412—428, 1955.
- [2] Buffa, E. S. *Operations Management: Problems and Models* (2nd ed.). John Wiley, New York, 1968.
- [3] Churchman, C. W., R. L. Ackoff, E. L. Arnoff. *Introduction to Operations Research*. John Wiley, New York, 1957.
- [4] Malcolm, D. G. „Queuing Theory in Organization Design.” *Journal of Industrial Engineering*, 19—27, Nov.-Dec. 1955.
- [5] Morse, P. M. *Queues, Inventories, and Maintenance*. John Wiley, New York, 1958.
- [6] Nelson, R. T. „An Empirical Study of Arrival, Service Time, and Waiting Time Distributions of a Job Shop Production Proces.” Research Report No. 60, Management Sciences Research Project, UCLA, 1959.
- [7] Peck, L. G., R. N. Hazelwood. *Finite Queuing Tables*. John Wiley, New York, 1958.
- [8] Saaty, T. L. *Elements of Queuing Theory*. McGraw-Hill, New York, 1961.
- [9] Saaty, T. L. „Resume of Useful Formulas in Queuing Theory.” *Operations Research*, 5 (2), 1957.
- [10] Sasieni, M., A. Yaspan, L. Friedman. *Operations Research*. John Wiley, New York, 1959.

Tabel de numere aleatoare

78466	83326	96589	88727	72655	49682	82338	28583	01522	11248
78722	47603	03477	29528	63956	01255	29840	32370	18032	82051
06401	87397	72898	32441	88861	71803	55626	77847	29925	76106
04754	14489	39420	94211	58042	43184	60977	74801	05931	73822
97118	06774	87743	60156	38037	16201	35137	54513	68023	34380
71923	49313	59713	95710	05975	64982	79253	93876	33707	84956
78870	77328	09637	67080	49168	75290	50175	34312	82593	76606
61208	17172	33187	92523	69895	28284	77956	45877	08044	58292
05033	24214	74232	33769	06304	54676	70026	41957	40112	66451
95983	13391	30369	51035	17042	11729	88647	70541	36026	23113
19946	55448	75049	24541	43007	11975	31797	05373	45893	25665
03580	67206	09635	84612	62611	86724	77411	99415	58901	86160
56823	49819	20283	22272	00114	92007	24369	00543	05417	92251
87633	31761	99865	31488	49947	06060	32083	47944	00449	06550
95152	10133	52693	22480	50336	49502	06296	76414	18358	05313
05639	24175	79438	92151	57602	03590	25465	54780	79098	73594
65927	55525	67270	22907	55097	63177	34119	94216	84861	10457
59005	29000	38395	80367	34112	41866	30170	84658	84441	03926
06626	42682	91522	45955	23263	09764	26824	82936	16813	13878
11306	02732	34189	04228	58541	72573	89071	58066	67159	29633
45143	56545	94617	42752	31209	14380	81477	36952	44934	97435
97612	87175	22613	84175	96413	83336	12408	89318	41713	90669
97035	62442	06940	45719	39918	60274	54353	54497	29789	82928
62498	00257	19179	06313	07900	46733	21413	63627	48734	92174
80306	19257	18690	54653	07263	19894	89909	76415	57246	02621
84114	84884	50129	68942	93264	72344	98794	16791	83861	32007
58437	88807	92141	88677	02864	02052	62843	21692	21373	29408
15702	53457	54258	47485	23399	71692	56806	70801	41548	94809
59966	41287	87001	26462	94000	28457	09469	80416	05897	87970
43641	05920	81346	02507	25349	93370	02064	62719	45740	62080
25501	50113	44600	87433	00683	79107	22315	42162	25516	98434
98294	08491	25251	26737	00071	45090	68628	64390	42684	94956
52582	89985	37863	60788	27412	47502	71577	13542	31077	13353
26510	83622	12546	00489	89304	15550	09482	07504	64588	92562
24755	71543	31667	83624	27085	65905	32386	30775	19689	41437

Tabel de numere aleatoare (continuare)

38399	88796	58856	18220	51016	04976	54062	49109	95563	48244
18889	87814	52232	58244	95206	05947	26622	01381	28744	38374
51774	89694	02654	63161	54622	31113	51160	29015	64730	07750
88375	37710	61619	69820	13131	90406	45206	06386	06398	68652
10416	70345	93307	87360	53452	61179	46845	91521	32430	74795
99258	03778	54674	51499	13659	36434	84760	76446	64026	97534
58923	18319	95092	11840	87646	85330	58143	42023	28972	30657
39407	41126	44469	78889	54462	38609	58555	69793	27258	11296
29372	70781	19554	95559	63088	35845	60162	21228	48298	05006
07287	76864	92658	21985	00872	11513	24443	44320	37737	97360
07089	02948	03699	71255	13944	86597	89052	88899	03553	42145
35757	37447	29860	04546	28742	27773	10215	09774	43426	22961
58797	70878	78167	91942	15108	37441	99254	27121	92358	94254
32281	97860	23029	61409	81887	02050	63060	45246	46312	30378
93531	08514	30244	34641	29820	72126	62419	93233	26537	21179
66558	78763	55932	15490	46790	47325	60903	15000	90970	06904
93810	69163	27172	10864	39108	79626	90431	44390	54290	70295
72045	47743	33163	88057	14136	55883	71449	68303	54093	95545
64251	86498	77947	21734	23571	86489	90017	24878	91985	03921
82220	31802	84619	51220	34654	60601	15088	26949	23013	72644
04991	91864	49269	66109	92609	37154	53225	73014	01890	04357
73895	65548	31996	73237	62411	22311	87875	79190	28237	73903
03515	01014	83955	11919	71533	71150	45699	95307	77713	66398
78808	89471	65152	62457	32410	14092	13813	08357	65485	83198
50648	45741	81584	54369	01575	92941	05484	41196	61946	89918
52074	39293	45087	07020	04753	69952	45199	83726	11602	57715
08209	01284	83775	89711	92322	31538	15808	94830	69581	94556
24292	33646	26925	04133	04895	07341	81441	53319	60118	98634
68189	39488	61468	23411	36471	65260	30134	55648	39176	61692
63096	33677	78900	30005	17324	83577	16699	62138	73469	89005
67106	05029	82711	17886	38351	42165	71101	37151	13547	38500
36272	89377	49623	71797	57532	90488	32967	60308	57256	66233
33143	08577	38507	85535	62784	29068	42392	41332	71636	49165
94138	78030	28934	91012	45780	66416	14003	05819	71031	00053
65199	99418	58039	96495	95954	48748	93022	46913	26250	35538
49897	14275	22123	84895	77567	17949	57969	31131	95882	08783
85679	52202	37950	09891	45369	48243	84985	08318	09853	86452
21441	75053	31373	89860	47671	33981	55424	33191	53223	54060
54269	06140	67385	01203	51078	48220	46715	09144	61587	63026
09323	22353	58095	97149	63325	18050	36840	26523	72376	89192
50214	26662	95722	78359	49612	75804	89378	96992	76621	91777
52022	22417	70460	91869	45732	54352	87239	41463	40310	45189
47176	39122	11478	75218	04888	49657	84540	49821	80806	83581
35402	23056	72903	95029	05373	35587	23297	11870	18495	79905
65519	29138	08384	41230	29209	87793	06285	90472	47054	57036

Tabel de numere aleatoare (continuare)

11259	05645	07492	16580	90016	22626	23187	25531	24281	05383
56007	97457	05913	74626	33923	25652	75099	73542	29669	82523
24558	05361	28136	58586	74390	95278	70229	15845	83717	91629
52889	89032	03429	81240	54824	16714	79590	91867	36732	16936
39534	82185	56489	40999	31361	98733	68769	77792	52694	14372
04948	01323	21617	23457	29217	65387	33130	30920	26298	84058
69496	38855	02249	50773	93315	41606	73918	32347	06673	95058
16068	36000	08084	66738	15982	82450	09060	49051	31759	54477
11907	18181	20687	05878	33617	16566	67893	50243	08352	64527
18382	61533	42865	90495	74809	70740	24939	43883	86674	40041
75960	66915	02595	66435	55610	42936	52336	15660	28110	10390
20156	11314	51105	46678	39660	54062	81972	55953	99513	41647
10528	02058	80359	99179	65642	93982	07133	38680	45791	79665
48514	83028	06720	33776	10023	14228	56367	04108	54855	77323
92644	48340	75864	50303	09037	02589	37463	81365	18567	65142
41477	25941	98283	49225	08721	84508	97549	46769	98389	19589
41630	05563	83127	71333	68606	49269	89244	53159	02762	18167
78489	08606	66190	02810	49460	63040	00221	27138	36645	02465
44971	55189	26570	98515	37222	54809	17570	64185	56333	72230
68023	51496	96693	76886	54420	59192	11645	54942	31693	28688

DICTIONAR ROMÂN ENGLEZ DE SUBIECTE

- Abordare sistemică (systems viewpoint) 42-I, 8-II, 195-II
- Activități fictive în rețele PERT 6 (dummy activities in PERT networks) 174—177-I
- Afișaje vizuale (displays visual) 315—315-I
- control prin codificare (coding of control) 316-II
- forme de cadrane (dial forms) 315-I
- ordonarea cadranelor (bank of dials) 317-I
- proiectarea cadranelor (dial design)
- Analiza activităților, în rețele PERT (activity analysis, in PERT networks), 173-I
- Analiza activităților pentru evaluarea funcțiilor (activităților) (job analysis for job evaluation), 169—172-II
- Analiza, procesul de (analysis, process of), 46—53-I
- Analiza de echilibru sau de rentabilitate (breakeven analysis)
- cauze ale schimbării punctului de echilibru (causes of changes in breakeven point), 89-I
- contribuție (contribution), 87-I
- construirea diagramelor de echilibru după datele de cost (construction of breakeven charts from cost data), 88—89-I
- construirea diagramelor de echilibru după diagrame de vânzare (construction of breakeven charts from scatter plots), 88—89-I
- efectul deciziilor conducerii asupra punctului de echilibru (effect of managerial decisions on breakeven point), 90-I
- grafic de echilibru sau de rentabilitate (breakeven chart), 87-I
- în organizații cu mai multe produse (in multiproduct organizations), 91-I
- în selecția procesului (in process selection), 160-I
- punct de echilibru sau de rentabilitate (breakeven point), 87-I
- utilitatea (utility of), 90-I
- Analiza schematică și grafică (schematic and graphic analysis)
- șabloane sau modele fizice (templates), 343-I
- diagramă de program operativ (schedule diagram), 101-II
- graficul de flux al procesului (flow process charts), 145—153-I, 298-I
- grafice Gantt (Gantt charts), 101—104-II
- grafice om sau om-mașină (man or man-machine charts), 304—305-I
- modele schematice (schematic models), 79-I
- pentru analiza produsului (for product analysis), 142—144-II
- Analiza succesiunii operațiunilor (operations sequence analysis), 254—256-I
- diagrama-bloc (blockdiagrams), 256—258-I
- soluții schematice ideale (ideal schematic solutions), 256-I
- rezumatul încărcării (load summary), 254-I
- Atmosfera încălzită, protecția împotriva ei (thermal atmosphere, control of), 319-I
- Automatizare (automation), 18-I, 197-I
- 212—220-I
- aplicații în buclă deschisă (open loop applications), 220-I
- buclă deschisă (open loop), 213-I
- buclă închisă (closed loop), 213—215-I
- controlul numeric (numerical control), 216—220-I
- controlul procesului (process control), 212-I
- efecte sociale și economice (social and economic effects), 212-I
- fabrică automatizată (automatic factory) 222-I
- funcții de percepere, comparare, luare a deciziei și efectuare (sensing, comparison, decision making, and effector functions), 213—215-I
- mașini de transfer (transfer machines), 220—221-I
- reacție (feedback), 213-I

Automatizare cu buclă deschisă (open loop automation), 221-I

Automatizare cu buclă închisă (closed loop automation), 213—221-I

Biotehnologie (Biotechnology) (vezi Relații umane și proiectarea funcțiilor)

Bugete (budgets), 184—188-II

variabile (variable), 185-II, 187-II

Calculatoare (computers), 18-I, 193—212-I analogice (analog), 197-I

cod standard pe bandă magnetică (magnetic tape code pattern), 199-I

componente (components), 198-I

digitale sau numerice (digitals), 198—212-I

domenii de aplicație (areas of application), 207-I

memorie (memory), 200-I

capacitate (capacity measure), 201-I

viteză de acces (access speed), 201-I

programare (programming), 203-I

exemplul statului de salarii (payroll example), 203-I, 205—206-I

sisteme de ieșire (output systems), 201-I

plotere (dot printing), 201-I

sisteme de intrare (input systems), 199-I

capacitate comparabilă (comparative capacity), 199-I

unitățile aritmetică și control (arithmetic and control sections), 198-I, 202—203-I

contoare electronice (electronic counters), 202-I

control automat (automatic control), 202-I

porti electronice (electronic gates), 202-I

principiul închis-deschis (on-off principle), 202-I

Calitate medie ieșită (CME) (average outgoing quality AOQ), 144-II

calculul ei (calculation of), 144—147-II

curbe de (curves), 146-II

Cicluri de producție pentru mai multe produse (production runs for several products), 47-II

Clasificarea cheltuielilor (expense classification), 85—86-I

Construcții uzinale (buildings, plant), 279-I

cu unul sau mai multe nivele (single versus multistory), 279-I

standarde de structură pentru un singur nivel (structural standards for single story), 280—281-I

Complexitatea activității (Job complexity)

pentru cel ce o îndeplinește (versus attendance), 343-I

pentru cel pe care îl servește (versus satisfaction), 344—345-I

Conducerea producției, (production management)

arta (art of), 44-I

definiție (definition of), 31-I

probleme (problems of), 42-I

sfera (scope of), 31-I

Conducerea științifică, cele 4 principii ale lui Taylor (scientific management, Taylor's four principles of), 14-I

Control (control)

cifre de control și viteze de reacție (control numbers and reaction rates), 68—70-II

exemplu de (example of), 70-II

nivele de producție (production levels), 60—86-II

Controlul calității (Quality control)

elementul de judecată (element of judgment), 138-II

grafice de control prin caracteristici (control cards, by attributes) 153-II

prin măsurarea variabilității (on measures of variability) 157-II

după variabile (by variables), 155-II

în desfacere, instalare și utilizare (in distribution, installation, and use), 136—137-II

în fabricație (in manufacture), 136-II

în proiectarea produsului (in product design), 135-II

organizarea pentru (organizing for), 137-II

politica produsului și calitatea (product policy and quality), 134-II

recepție prin eșantionare (acceptance sampling)

aplicabilitate (when appropriate) 140-II

după caracteristici (by attributes), 140-II

după variabile (by variables), 150-II

Controlul conturului în comanda numerică utilajelor (contour control in numerical control of machine tools), 216-I

Controlul costurilor (cost control)

aplicații neproductive (nonmanufacturing applications), 190-II

buget variabil (variable budget), 187-II

centre de responsabilitate pentru costuri (centers of cost) 182-II

fazele principale (broad phases of), 181-II

modele de costuri (standard) generale (overhead cost patterns), 185-II

costuri standard și bugete (cost standards and budgets), 184-II

- pentru costuri generale (for overhead costs), 185-II
 pentru materiale (for material), 185-I
 pentru salarii directe (for direct labor), 184-II
 rolul supraveghetorului (role of supervisor), 182-II
 Control (comanda) numerică (numerical control), 216—220-I
 probleme economice (economics of), 218-I
 controlul conturului (contour control), 216-I
 controlul poziției (position control), 216-I
 mașină de găurit cu poziționare comandată numeric (position controlled drill press), 217-I
 sisteme de programare (programming systems), 216-I
 Controlul poziției (position control), 216-I
 Controlul proceselor (process control), 212-I
 Comandă cu reacție (feedback control), 213—215-I
 Controlul stocurilor și producției (inventory and production control)
 controlarea nivelelor producției (controlling production levels), 60—86-II
 mărimea loturilor comenzilor (lot sizes), 42-II
 cicluri de producție pentru mai multe produse (production runs for several products), 47-II
 cu rabaturi la cantitate (with quantity discounts), 45-II
 producție (production), 46-II
 planuri de producție pentru vânzări sezoniere (production plans for seasonal sales), 60—86-II
 previziuni (forecasts), 36—42-II
 programe principale agregate (master programs), 60—86-II
 stocuri (inventories), 32—36-II, 42—52-II
 stocuri de siguranță (safety stocks), 48-II
 Costuri diferențiale (differential costs) (vezi costuri suplimentare)
 Costuri estimative (estimating costs), 157-I
 exemplu de (example of), 159—160-I
 Costuri generale (overhead costs), 86-I
 Costuri din buzunar (out-of-pocket costs) (vezi costuri suplimentare)
 Costuri standard (cost standards = Standard costs), 183-II
 modele de costuri generale (overhead cost patterns), 186-II
 pentru costuri generale (for overhead costs), 185-II
 pentru materiale (for material) 185-II
 pentru salarii directe (for direct labor) 184-II
 Costuri suplimentare (incremental costs)
 costuri de închiriere (leasing costs), 93—94-I
 deasupra punctului de echilibru (over breakeven points), 92—93-I
 în deciziile de fabricare-cumpărare (in make-buy decisions), 91-I
 în selectarea proceselor (in selecting processes), 94—95-I, 157-I, 159-I
 pentru cheltuielile de muncă directă sint fixe (when direct labor is fixed), 92-I
 pentru achiziționarea materialelor (for purchasing materials), 99-I
 pentru o linie de producție (for an production line), 92-I
 Costuri de investiții (capital costs), 98—101-I
 Costuri marginale (marginal costs) (vezi costuri suplimentare)
 Costuri medii (average costs), 85-I, 91-I
 Minimizarea costului în rețeaua PERT (least costing of PERT networks), 186-I
 Costuri de oportunitate (opportunity costs), 101-I
 Costuri suplimentare ca parte a costurilor de investiții (capital additions, as a component of capital costs), 101-I
 Costuri variabile, definiție (variable costs, definition of), 86-I
 CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Techniques), 258—267-I
 Criterii de investiții pentru compararea variantelor economice (investment criteria for comparing economic alternatives)
 criteriul investiției medii (average investment criterion) 107-I
 perioade de amortizare (payoff periods), 109-I
 formula MAPI (MAPI formula), 110-I
 rata de recuperare (rate of return), 108-I
 valoarea actuală (present values), 105-I
 Criterii de înlocuire (replacement criteria)
 perioade de amortizare (payoff periods), 109-I
 formula MAPI (MAPI formula), 110-I
 investiția medie (average investment), 107-I
 rata de recuperare (rate of return), 108-I
 valoarea actuală (present values), 105-I
 Curbe de operare caracteristice OC (operating characteristic curves OC)

- pentru eşantionare după caracteristici (for attributes sampling)
 efectul creşterii mărimii eşantionului (effect of increased sample sizes), 142-II
 efectul scăderii numărului de acceptare (effect of decreasing acceptance numbers), 143-II
 pentru eşantionare după variabile (for variables sampling), 150—151-II
 Date antropometrice, înălţimea scaunului şi a mesei (anthropometric data, chair and table heights), 309—311-I
 Decizia pentru proiectarea capacităţii instalaţiilor (capacity decision for facility design), 245-I
 capacitatea viitoare (future capacity), 246-I
 unităţi pentru exprimarea capacităţii (workable units of capacity), 247-I
 lucrul în mai multe schimburi (multiple shifts), 246-I
 subcontractarea (subcontracting), 246-I
 Decizii (decisions)
 date de cost pentru (cost data for) 85-I
 legate de controlul sistemelor (related to control systems), 43-I
 legate de proiectarea sistemelor (related to design of systems), 42-I
 probabilitatea de obţinere (probability of attainment), 24-I
 lungă durată (long run), 42-I
 luarea deciziilor (decision making)
 funcţia modelelor în, (function of models in), 25-I
 în funcţie de modele (relation to models), 29-I
 natura (nature of), 23-I
 structura (structure of), 24-I
 Decizii „a produce sau a cumpăra” (make-buy decisions), 154-I
 analiză economică pentru (economic analysis for), 155-I
 factori neeconomici şi intangibili (noneconomic and intangible factors in), 156-I
 strategia „a produce sau a cumpăra” (make-buy policies), 156-I
 Diagramă de flux, produse petroliere (flow diagram, petroleum products), 124—125-I
 Diagramă de programare operativă (scheduling diagram), 98—101-II
 exemplu (example of), 100-II
 Dificultăţile activităţii (job difficulty), 163-II
 Dinamică industrială (industrial dynamics), 22—28-II
 Distribuţii ale timpului de întreruperi (breakdown-time distributions), 118—120-II
 Diviziunea muncii, avantaje (division of labor, advantages of), 11-I
 Dobîndă compusă (interest factors, compound), 104-I
 Economia mişcărilor, principii de (motion economy, principles of), 299-I
 Elemente de poziţionare, viteza şi precizia lor (positioning elements, speed and accuracy of), 313-I
 Eşantionare dublă după caracteristici (double sampling by attributes), 147-II
 volumul controlului comparat cu cel de la eşantionare simplă (amount of inspection compared to single sampling), 148-II
 Eşantionare secvenţială după caracteristici (sequential sampling, by attributes), 149-II
 Evaluarea activităţilor-funcţiilor (evaluation of jobs), 163-II
 analiza activităţilor unei funcţii (job analysis), 169-II
 controale rezultînd din (controls resulting from), 177-II
 împărţite în categorii şi clasificare (ranking and classification), 163-II
 măsura dificultăţii funcţiei (measure of job difficulty), 163-II
 metode cantitative (quantitative methods), 163-II
 metode necantitative (nonquantitative methods), 163-II
 sisteme de punctaje şi cu factori de comparaţie (point and factor comparison systems), 164-II
 sisteme de punctaje (point system), 164-II
 evaluarea activităţilor (evaluation of jobs), 171-II
 evaluare prin punctaj a 50 funcţiilor (point evaluation of 50 jobs), 171-II
 factori tipici şi definiţii de trepte (typical factors and degree definitions), 166—169-II
 factori tipici şi scări (typical factors and scales), 166-II
 precizia finală a scării (final accuracy of scale), 172-II
 studii asupra distribuţiei de salarizare (area wage surveys), 173-II
 comparabilitatea activităţilor funcţiilor (job comparability), 173-I
 Evaluarea performanţelor (performance rating), 352-I

- ca sistem de măsurare (as a system of measurement), 352-I
 precizia (accuracy of), 354-I
 scări de măsurare (scales), 353-I
 Evenimente în rețele PERT (events in PERT networks), 170-I
- Factor de muncă (work factor), 368-I
 Factori și scări de punctaj folosite în evaluarea funcției (factors and scales of points used for job evaluation), 166-II
 Fiabilitatea unui sistem de producție, metode de întreținere (reliability of production systems, methods of maintaining), 117-II
 Fișă de operație sau de operare (operation sheet), 161-I
 Fișă tehnologică (route sheet) 160—161-I
 Formula (criteriul MAPI pentru compararea variantelor economice (MAPI formula criterion for comparing economic alternatives), 110—113-I
 grafic (chart) 112-I
 elemente de calcul (elements in calculation), 110-I
 Funcțiile — proprietățile — omului în îndeplinirea muncii man's functions in performing work), 293-I
 Furnal înalt (blast furnace), 123-I
- Grafice, diagrame de activități (activity charts), activități multiple (multiple activities), 308-I
 grafice om-mașină (man-machine charts), 303—309-I
 Grafice de clasificare matricială (cross classification charts), 100-II
 Grafice de control (control charts), 152—155-II
 ale măsurării variabilității (on measures on variability), 157-II
 grafice-R (R-charts), 158-II
 după caracteristici (by attributes), 152-II
 alte tipuri de grafice de control după caracteristici (other types of attributes control charts), 154-II
 calculul limitelor de control (calculation of control limits), 154-II
 exemplu de grafic p (example of a p-chart), 154-II
 după variabile (by variables), 155-II
 efectul modificării valorii medii și/sau a variabilității (effect of change in mean value, change in variability, or both), 155-II, 157-II
- normalitatea distribuțiilor eșantionare la eșantioanele mici (normality of sampling distributions of small samples), 155-II
 Grafice de flux al procesului, analiza lui (flow process charts, analysis of), 145—153-I
 om (man), 299-I
 produs (product), 145-I
 simboluri pentru (symbols for), 150-I
 Grafice — diagrame — de montaj (assembly charts), 142-I
 exemple (examples of), 144, 146—147-I
 Grafice Gantt ca modele grafic (Gantt charts as a graphic model 101—104-II
 grafice de încărcare (load chart), 102—103-II
 grafic de planificare a proiectului (project planning chart), 101-II
 Grafic om-mașină — diagrame — de activitate (man-machine chart=activity chart), 303—306-I
 analiza lui (analysis of), 305-I
 exemple de (examples of) 304-I, 305-I
 Graficul operațiilor (operation chart), 298-I
 Grafic, schemă de organizare (organization chart), 27-I
 Graficul procesului de producție (operation process chart), 148-I
 exemplu de (example of), 148—149-I
 simboluri pentru (symbols for), 145-I
- Iluminare (lighting), 322-I
 criterii pentru ambianță (criteria for environment of), 323-I—324-I
 efecte asupra performanțelor de lucru (effects on performance), 323-I
 efectul orbirii (glare effects), 323-I
 nivele critice de (critical levels of), 323-I
- Îmbunătățirea costului (cost improvement), 188-II
 efectul scopurilor (effect of goals), 190-II
 esența programelor de simplificare a muncii (emphasis in work simplification programs), 188-II
 programe de instruire (training programs), 189-II
 conținutul lor (content of), 189-II
 rezultatele lor (results of), 190-II
- Incertitudine în controlul stocurilor (uncertainty in inventory control), 47—52-II
 sisteme fundamentale de control ale (basic control systems for), 50-II
- Înălțimea scaunului și meselor (chair and table heights), 309-I, 311-I

Întreținere (maintenance)

preventivă pentru o singură mașină (preventive for single machine), 120-II
efectele costurilor de timp de întrerupere (effect of down-time costs), 130-II
efectul relației dintre durata de întreținere preventivă și durata reparației (effect of relation of preventive maintenance time to repair time), 120—122-II

principii ale politicii de întreținere preventivă (guides to preventive maintenance policy) 122-II

procente de timp lucru-mașină pentru 3 distribuții de timp de întrerupere (per cent of time machine works for three different breakdown-time distributions), 121-II

preventivă pentru mai multe mașini (preventive for several machines), 124-II

număr mediu de mașini încredințate (mean number of machines in commission), 124-II

procentul de timp în care echipa de reparații este ocupată (per cent of time repair crew is busy), 125-II

servicii de întreținere (maintenance departments), 129-II

lucru efectiv (busy work), 131-II

evidențe (records) 131-II

Joc cu zaruri (die casting), 128-I

roluri tipice (typical parts), 128-I

Judecata ca factor în măsurări (judgment as a factor in measurement) în controlul de calitate (in quality control), 138-II

în evaluarea performanțelor (in performance rating), 354-I

la folosirea instrumentelor de precizie (in use of precision gages) 138-II

Judecata în conducerea economică, valoarea ei (judgment in business, how good), 193-II

Lărgirea atribuțiilor (a conținutului activității) (job enlargement), 13-I, 333—335-I
evidența cantitativă (quantitative evidence), 335—338-I

la Colonial Insurance Co., 334-I

la Detroit Edison, 335-I

la IBM, 333-I

Limitele ariei de lucru (work area limits), 309-I

Amplasarea uzinei (plant location), 229—242-I

alegerea poziției (site location), 232-I
efectul cheltuielilor de capital (capital expenditure-volume effects), 237-I
dinamica, amplasarea mai multor uzine (locational dynamics of multi-plants), 240-I

exemplul unui studiu de amplasare (example of a location study), 231—233-I
factorii obiectivi și subiectivi (objective and subjective factors) 231-I
natura dinamică a (dynamic nature of), 229-I

Mașini de transfer (transfer machines), 220—221-I

Mărimi economice ale loturilor (economic lot sizes), 42—47-II

Măsurarea muncii (work measurement), aplicații în activități neproductive (nonmanufacturing applications), 374-I
cadru conceptual (conceptual framework of), 350—351-I

evaluarea performanțelor (performance rating) 352-I

ca un sistem de măsură (as a system of measurement), 352-I

precizie (accuracy of), 354-I

scări de măsurare (scales), 353-I

metode de cronometrare (stopwatch methods)

culegerea și înregistrarea datelor (taking and recording data), 355-I

consistența eșantioanelor de date (consistency of sample data), 366-I

descompunerea în elemente (breakdown of elements), 355-I

mărimea eșantionului (sample sizes), 357-I

grafice de estimare (chart for estimating), 358-I

procedură generală (general procedure), 354-I

toleranțe (allowances), 371-I

folosirea lor (application of), 373-I

pentru întârziere (for delay), 373-I

pentru oboseală și necesități personale (for fatigue and personal time), 371-I

timp normal (normal time), 351-I

sisteme de date standard (standard data systems), 367-I

pentru familii de funcții (for job families), 370-I

universale (universal), 367-I

Mediul ambiant, agenți patogeni și riscuri (work environment, contaminants and hazard) 324-I

concentrația maximă admisibilă (CAM) pentru substanțele industriale obișnuite (maximum allowable concentra-

- tion (MAC) for common industrial substances), 324-I
- controlul și protecția în cazul unei atmosfere încălzite (control of the thermal atmosphere), 319-I
- criterii pentru iluminarea mediului ambiant (criteria for lighting environments), 323-I
- efectele strălucirii (glase effects) 323-I
- efectele zgomotului asupra randamentului (noise affects on performance), 321-I
- iluminare (lighting), 322-I
- nivele critice ale iluminării (critical levels of illumination), 323-I
- nivele în decibeli pentru zgomote tipice (db levels of typical noises), 322-I
- pierderea de auz din cauza zgomotului (hearing loss due to noise), 321-I
- temperatura efectivă (effective temperature), 319-I
- temperatura efectivă și randamentul (effective temperature and performance), 319-I
- zgomot (noise), 320-I
- Metode de măsurarea timpului — MTM (methods-time measurement — MTM) 368—370-I
- Metode analitice (analytical methods of), 192-II
- semnificație (significance of), 192-II
- tipuri de (kinds of)
- analiza prețului de cost (cost analysis), 53-I
- analiză de echilibru sau rentabilitate (breakeven analysis), 53-I
- analiza schematică și grafică (schematic and graphic), 79—81-I
- analiză statistică (statistical analysis), 73—74-I
- fire de așteptare sau modele cu cozi (waiting line or queuing models), 58—65-I
- metode de căutare (search methods), 78-I
- metode euristice (heuristic methods), 75—78-I
- modele de simulare (simulation models), 65—73-I
- Metode de căutare cu ajutorul calculatorului (computer search methods), 78-I
- Metode de cronometrare în măsurarea muncii (stopwatch methods of work measurement), (vezi măsurarea muncii-metode de cronometrare)
- Metode distributive ale programării liniare (distribution methods-linear programming),
- degenerare (degeneracy), 202-II
- disponibil și cereri inegale (unequal supply and demand), 205-II
- formularea matematică (mathematical formulation of), 208-II
- îmbunătățirea soluțiilor fizabile (improvement of feasible solutions), 199-II
- matrice de distribuție (distribution matrix), 198-II
- metoda distributivă modificată=MODI (modified distribution method=MODI), 205-II
- soluția inițială de nord-vest A II (North-west initial solution), 198-II
- soluții optime (optimal solutions), 201-II
- utilizări (uses for), 210-II
- zerouri în matrice (zeros in the matrix), 209-II
- Metoda distributivă modificată a programării liniare = MODI (modified distribution method of linear programming = MODI)
- calculul valorilor R și K (calculation of R and K values), 205-II
- evaluarea careurilor deschise (evaluating open squares), 206-II
- test de optimalitate (test for optimality), 207—208-II
- Metoda de drum critic (critical Path Methods), 181-I
- Metode euristice (heuristic methods), 75-I
- Metoda Monte-Carlo (Monte-Carlo methods), 65—73-I
- exemplu (example of), 66—73-I
- Metode simplex ale programării liniare (simplex methods of linear programming)
- aplicabilitate generală (general applicability of), 224-II
- calculul coeficienților în tabele succesive (calculation of coefficients in succeeding tables), 230—231-II
- calculul liniei principale (development of main row), 229-II
- degenerarea soluțiilor (degeneracy in simplex solutions), 234-II
- exemplu (example of), 225—232-II
- formulare simbolică (symbolic formulation for), 225-II
- identificarea liniei cheie, a coloanei cheie și a numărului cheie (identifying key row, column, and key number), 228—229-II
- interpretare grafică (graphic interpretation of), 215-II
- îmbunătățirea soluției inițiale (improving initial solution), 227—232-II
- soluție inițială (initial solution), 226-II
- sumarul recapitularea procedurii (procedure summary), 232-II

- terminologia matricii simplex (nomenclature of simplex matrix), 227-II
- tipuri de funcții obiectiv (kinds of objective functions), 224-II
- verificări (checking work), 234-II
- Mînuirea materialelor (material handling)
- în proiectarea proceselor (in process layouts), 267-I
 - în proiectarea produselor (in product layouts), 267-I
- Model cu resurse limitate pentru PERT (limited resources model for PERT), 187-I
- Modele de costuri, generale (cost patterns, overhead), 185-II
- Modele fizice șabloane, machete (Templates layout, blok) 282-I
- bi-dimensionale (two-dimensional), 288-I
 - tri-dimensionale (three-dimensional), 282-I
- Modele de fire de așteptare (waiting line models), 58—65-I, 241—255-II
- aplicații tipice (typical applications), 58—59-I
 - efectul creșterii numărului de canale (effect of increasing number of channels), 253-II
 - efectul centralizării stațiilor (effect of pooling facilities), 254-II
 - exemplu (example of), 59—62-I
 - finite (finite), 255-II
 - infinite (infinite), 248-II
 - limitări (limitations of), 65-I
 - multi-canal cu o singură fază (multiple-channel, single-phase), 251
 - ritmuri de sosiri și serviri de tip Poisson (Poisson arrival and service rates), 63—65-I, 243-II, 244—245-II
 - soluții analitice (analytical solutions for), 61-I
 - tabele de cozi finite (finite queuing tables), 255-II
- Modele matematice (mathematical, models)
- construirea lor (construction of), 46—53-I
 - definirea sistemelor în studiu (definition of systems under study), 47-I
 - măsurarea eficienței (measures of effectiveness), 48
 - variabile controlabile (controllable variables), 49
 - variabile necontrolabile (uncontrollable variables), 49
- Modele de simulare (simulation models)
- eșantionare simulată (simulated sampling), 66—73
 - exemplu (example of), 65—73
 - utilitate (usefulness of), 65
- Nivel acceptabil de calitate = NAC definiție (acceptable quality Level = AQL definition), 143—144-II
- Nivelarea încărcărilor în PERT (load leveling in PERT), 184-I
- Nivele de producție (production levels)
- cifre de control și viteze de reacție (control numbers and reaction rates), 68—70-II
 - exemplu (example of), 70-II
 - obiectivul definit (objective defined), 68-II
- Noduri în rețele PERT (nodes in PERT networks), 170-I, 172-I
- numerotarea lor (numbering of), 177-I
- Norme de producție (production standards)
- bazate pe măsurarea muncii (based on work measurement), 354-I
 - observarea selectivă a muncii (work sampling), 352-I
- evaluarea performanțelor (performance rating), 352-I
- metoda cronometrării stopwatch methods), 354-I
- norme de muncă (standard data methods), 367-I
- necesitate (need for), 349-I
 - norme neoficiale (informal standards), 350-I
 - toleranțe (allowances), 371-I
- Numere aleatoare (random numbers),
- Oboseală (fatigue), 371—373-I
- Organizarea fluxului de materiale (organizing for material flow), 18—22-II
- Observarea selectivă a muncii (work sampling), 17-I, 360—362-I
- comparație cu studiile de cronometrare (compared to stopwatch study), 366-I
 - pentru măsurarea întârzierii și toleranțelor (for delays and allowances), 361-I
 - exemplu (example), 364-I
 - procedură de studii (procedure), 362—363-I
 - pentru stabilirea normelor de producție (for production standards), 363-I
 - exemplu (example), 364-I
 - numărul necesar de observații (number of observations), 361-I
 - grafic (curba) pentru estimare (chart for estimating), 362-I
- Participarea muncitorilor (participation of workers), 345—346-I
- la Hovey Beard Co., 345-I
- Pauze de odihnă, baza fiziologică (rest pauses, a physiological basis), 372-I

- Perioada de amortizare — criteriu de comparare a variantelor economice (payoff periods as criteria for comparing economic alternatives), 109-I
- PERT, 170—181-I
 model deterministic (deterministic model), 170—182-I
 model probabilistic (probabilistic model), 182-I
- Planul construcțiilor din uzină (layout of physical facilities), 244—283-I
 analiza succesiunii operațiilor (operation sequence analysis), 254-I
 construcții uzinale (plant buildings), 279-I
 cu un nivel sau mai multe (single versus multistory), 279-I
 decizii de stabilirea capacității (capacity decision), 245-I
 facilități pentru servicii (service facilities), 278-I
 mînuirea materialelor (material handling)
 în planurile de prelucrare (in process layouts), 267-I
 în planurile de produse (in product layouts), 277-I
 tehnici de echilibrare (line balancing techniques), 269—274-I
 tipuri de planuri de ansamblu (layout types), 248-I
 combinații (combinations), 252-I
 procesul (process), 253—269-I
 produsul (product), 269—277-I
- Planul liniei de producție (line layout), 269—282-I
 cerințe pentru (requirements for), 250-I
 mînuirea materialelor în (material handling in), 277-I
 tehnici de echilibrare a liniei (line balancing techniques), 269—277-I
- Planul de prelucrare (process layout), 253—268-I
 analiza succesiunii operațiilor (operation sequence analysis), 254-I
 cerințe pentru (requirements for), 248-I
 manipularea materialelor la (material handling in), 267-I
 măsurarea eficienței (measure of effectiveness for), 253-I
- Planul liniei de producție (product layout), 269-I
 cerințe pentru (requirements for), 250-I
 mînuirea materialelor la (material handling in), 277-I
 tehnici de echilibrare a liniei (line balancing techniques), 269-I
 bancuri de lucru și viteze ale liniei (bank and line speeds), 274-I
- Planuri funcționale de ansamblu sau de prelucrare (funcțional layout), 248-I, 253—269-I
 analiza succesiunii operațiilor (operation sequence analysis), 254-I
 cerințe pentru (requirements for), 248—253-I
- GRAFT, 258—267-I
 manipularea materialelor (material handling in), 267-I
 măsura eficienței (measure of effectiveness for), 253-I
- Planuri și programe agregate (aggregate plans and programs), 60—86-II
 model într-o etapă (single stage model), 63-II
 model în mai multe etape (multistage model), 64-II
 natura lor (nature of), 61—62-II
 pentru articole nestocabile (for noninventoriable items), 84-II
 planuri pentru diferite orizonturi (plans for various horizons), 62-II
 procese de decizie pentru (decision processes for)
 metode grafice (graphic methods), 65-II
 modelul coeficienților de conducere (management coefficients model), 76-II
 modelul coeficientului de reacție (reaction rate model), 68-II
 planificarea parametrică a producției = PPP (parametric production planning), 76-II
 programarea lineară (linear programming), 66-II
 regula de căutare a deciziei = RCD (search decision rule SDR), 77—84-II
 regula deciziei lineare = RDL (linear decision rule LDR), 72-II
- Planificarea prelucrărilor (process planning), 139-I
- Planificarea și controlul operațiilor (operations planning and control)
 clasificarea sistemelor (classification of systems), 15—18-II
 sistemul de control (system control), 11-II
 incertitudine (uncertainty), 47-II
 interdependența funcțiilor (interdependence of functions), 8-II
 mărimile lotului (lot sizes), 42—47-II
 organizare pentru (organizing for), 18-II
 planuri agregate (aggregate plans), 60—86-II
 previziune (forecasting), 36—42-II
 simularea (simulation of), 22-II
 sisteme producție — stocuri (production inventory systems), 7—29-II
 stocuri, funcțiile lor (inventories, functions of), 32—36-II

- suboptimizare (suboptimization), 481
- Planificare în rețea sau metoda grafurilor (network planning), 74-I, 169—191-I
- metode PERT de planificare (PERT planning methods), 170—181-I
- difficultăți (difficulties with), 188-I
- origină (origin of), 170-I
- Podul George Washington (George Washington Bridge), 27-I
- Poziționare prin intermediul unor cadrane, manete și volane de mână (positioning through setting of dials cranks, and handwheels), 314-I
- Prelucrarea integrată a datelor (integrated data processing), 207—212-I
- exemplu (example of), 209-I
- fluxul de informații pentru controlul fluxului producției și stocurile (information flow to control production flow and inventories), 210-I
- Previțiune (forecasting), 36—42-II
- metodologie (methodology), 38-II
- exponențială (exponential), 39—40-II
- medii mobile (moving averages), 39—40-II
- orizont de timp (time horizon), 36-II
- Principii ale economiei mișcării (principles of motion economy), 299-I, 300-I
- Principiul excepției (exception principle), 197-I
- Procese (processes), 121—130-I
- administrative (clerical), 129-I
- chimice (chemical), 123-I
- de schimbarea formei (shape or form), 124-I
- asamblare (assembly), 128-I
- transport (transport), 128-I
- Procese de producție (production processes), 139-I
- Procese de formare a metalelor (forming processes of metal), 123-I
- comparații între procese (comparison of forming processes), 132—133-I
- Producerea acelor cu gămălie (pin manufacture), 12-I, 13-I
- Produse petroliere, diagramă de flux (petroleum products, flow diagram), 124—125-I
- Programare dinamică (dynamic programming), 237-II
- Programarea drumului critic (critical path scheduling), 177-I
- Programare lineară (linear programming), 54—58-I, 196—211-II
- aplicații (applications), 57—58-I, 210-II
- matricea distribuției (distribution matrix), 56-I
- metode de distribuție (distribution methods), 196—211-II
- metoda MODI (MODI methods), 205—207-II
- metode simplex (simplex methods), 215—237-II
- Programare pătratică (quadratic programming), 237-II
- Programare și controlul operațiilor (production scheduling and control), 93—112-II
- controlul comenzilor (order control), 98-II
- grafice matriceale de clasificare a pieselor (cross classification), 100-II
- reguli de decizii de alocare (dispatch decision rules), 104-II
- cu ajutorul calculatorului (computerized), 109-II
- documente de atelier (plans and shop papers), 98-II
- programare operativă (operations scheduling), 97-II
- rețele (networks), 169—191-I
- sisteme continue (continuous systems), 93-II
- urmărirea realizării comenzilor (tracking progress of orders), 107-II
- Proiectarea activităților (job design), 291—325-I
- vizualizarea informațiilor (information displays), 315-I
- cadrul conceptual (conceptual framework), 295-I
- cine proiectează activitățile (who designs jobs), 296-I
- date antropometrice (anthropometric data), 309-I
- date psiho-fiziologice (psychophysiological data), 307—308-I
- măsurarea eficienței (measures effectiveness), 294-I
- oboseala și schemele de muncă (fatigue and work schedules), 371—373-I
- aranjarea fluxului muncii (arrangement and flow of work), 297-I
- pauze de odihnă (rest pauses), 371—373-I
- principiile economiei de mișcare (principles in motion economy), 299-I
- legătura între factorii ce determină conținutul locului de muncă și metodele de lucru (relationship of factors determining job content and job methods), 296-I
- unde omul întrece mașina (where man surpasses machines), 293-I
- viteza și precizia răspunsurilor motorii (speed and accuracy of motor responses), 312-I
- Proiectarea producției (production design), 119—121-I

- domeniul costurilor afectate de (range of cost affected by), 121—122-I
- efectul asupra costurilor indirecte (effect on indirect costs), 121-I
- efectul metodelor de îmbinare a pieselor (effect of parts joining methods on), 131-I
- în domenii neproductive (in nonmanufacturing), 162-I
- prelucrare redusă (reduced machining), 137-I
- processe și materiale (processes and materials), 131-I
- proiectări simplificate (simplified designs), 137-I
- toleranțe (tolerances), 136-I
- alternative de bază (basic alternatives of), 131-I
- Programe principale în planificarea producției (master programs in production planning), 60—86-II
- costul variantelor de programare (cost of alternate programs), 67-II
- funcții de previziune la (functions of forecasts in), 61—64-II
- metode euristice (heuristic methods), 75-II
- metode grafice (graphic methods), 65-II
- metode de programare liniară (linear programming methods), 73-II
- metoda coeficientului de reacție (reaction rate model), 68-II
- natura problemei (nature of problem), 62-II
- Regula de căutare a deciziei = RCD Search decisions rule SDR), 77-II
- Regula deciziei liniare = RDL (Linear decision rule LAR), 72-II
- Rata poissoniană a sosirilor (poisson arrival rates), 243-II
- Răspunsul muncitorului la atribuțiile muncii (worker response to task attributes), 341-I
- Recepție prin eșantionare (acceptance sampling)
- aplicabilitate (when appropriate), 138-II
- după caracteristici (by attributes), 140-II
- curbe caracteristice de operare (operating characteristic curves), 141—147-II
- curbe de calitate medie ieșită (average outgoing quality curves = AOQ), 144-II
- eșantionare dublă (double sampling), 147-II
- eșantionare secvențială (sequential sampling), 149-II
- după variabile (by variables), 150-II
- curbă caracteristică de operare (operating characteristic curve), 152-II
- domeniu de aplicare (field of application), 154-II
- exemplu (example), 154-II
- reducerea mărimii eșantionului necesar la eșantionarea după variabile în comparație cu cea după caracteristici (reduction in sample size needed by variables sampling as compared to attributes sampling), 157-II
- Reguli de decizie pentru afectări (dispatch decision rules), 70-II
- Regula deciziei liniare = RDL (linear decision rule = LDR), 72-II
- Regula căutării deciziei = RCD (search decision rule = SDR), 76-II
- Responsabilitatea costurilor, centre de cost (cost responsibility, centres of), 182-II
- Riscul consumatorului (α), definiție (consumer's risk (α), definition), 143-II
- Riscul producătorului (β), definiție (producer's risk (β), definition), 143-II
- Sarcini repetitive cu ciclu mare, analiza lor (repetitive long cycle tasks, analysis of), 303-I
- Sarcini repetitive de scurtă durată, analiza lor (repetitive short cycle tasks, analysis of), 298-I
- Satisfacția activității (job satisfaction), în raport cu complexitatea funcției (versus job complexity), 344-I
- Schema generală (SG) de servicii, descriere a 5 clase (General Service (GS) Schedule, 5 grade descriptions of), 166-II
- Simulare (simulation)
- a mărimii optime a echipei de intervenții (of optimal repair crew size), 129-II
- a variantelor de politici de întreținere (of alternate maintenance policies), 125-II
- Sistemul aprovizionare — producție — distribuție (supply — production — distribution system), 16-II
- Sisteme de măsurare a normelor de timp (standard time data systems), 367-I
- pentru familii de activități (for job families), 157—159-I, 370-I
- universale (universal), 367-I
- Sistem cu stocuri de bază pentru controlul stocurilor (base stock system of inventory control), 51-II, 70—72-II
- Sistem de control stocuri cu cantitate fixă de comandă (fixed order quantity system of inventory control), 50-II

Sistem de control stocuri cu ciclu fix de comandă (fixed order cycle system of inventory control), 50-II

Sisteme de producție (production systems)
continue (continuous), 35-I
discontinue (intermittent), 35-I
model descriptiv generalizat (generalized descriptiv model of), 37-I
sistem informațional pentru (information system for), 39-I

Sisteme producție — stocuri (production — inventory systems), 7—30-II
abordarea sistemică a lor (system view in), 8-II

clasificare după continuitate (classification of continuous versus intermittent), 15-II

clasificare după stocuri (classification of inventoriable versus noninventoriable), 15-II

controlul sistemului (system control), 14-II

organizare pentru (organizing for), 18-II
simulare de (simulation of), 27-II

suboptimizare (suboptimization), 11-II

Știință aplicată, conducerea producției ca (applied science, production management as), 19-I

Stocuri (inventories)

efectul incertitudinii (effect of uncertainty), 47-II

sistem de control de bază pentru manipulare (basic control system for handling), 47-II

stocuri de siguranță (safety stocks), 48—49-II

funcțiile lor (functions of), 34-II

mărimile lotului (lot sizes), 41-II

cicluri de producție pentru mai multe produse (production runs for several products), 47-II

cu rabaturi de cantitate (with quantity discount), 519

producție (production), 47-II

sisteme de informație cu reacție de control (information feedback systems in controlling), 52-II

Stocuri de siguranță (safety stocks) (vezi stocuri tampon)

Stocuri tampon (buffer stocks), 34-II, 46-II

Structura salariilor (wage structure)
avantajele stimulentele (benefits of wage incentives), 176-II

controale impuse de (controls resulting from), 177-II

principii de elaborare (guides for developing), 173-II

baza avansării în cadrul unui interval de salarizare (basis of advancement through wage ranges), 174-II

interval de salarizare (wage ranges), 174-II

număr de clase (number of grades), 174-II

structura de bază a salarizării stimulante (basic structure of wage incentives), 175-II

structura fundamentală tipică a salariilor (typical base wage structure), 175-II

Studiile Hawthorne (Hawthorne studies), 323-I

Studiul și analiza micro-mișcărilor (micro-motion study), 299-I

Tehnica echilibrării în liniile de producție (balance technique in production lines), 269—274-I

în liniile de fabricație (in fabrication lines), 273-I

Teoria deciziei (decision theory), 24-I

Temperatura efectivă (effective temperature), 318-I

efectul asupra performanțelor (effect on performance), 319-I

scara (scale of), 318-I

Timpi de serviciu exponențiali (exponential service times), 67-I

Timpul (durata) cel mai probabil în PERT (most likely time in PERT), 182-I

Timpul (data) de început cel mai devreme, definiție și calcul (early start time, definition and computation of), 177-I

Timpul (data) de început cel mai târziu, definiție și calcul (latest start time, definition and computation of), 178-I

Timpul (data) de sfârșit cel mai devreme, definiție și calcul (early finish time, definition and computation of), 177-I

Timpul (data) de sfârșit cel mai târziu, definiție și calcul (latest finish time, definition and computation of), 178-I

Temp normal în măsurarea muncii (normal time in work measurement), 351—352-I

Temp normal în măsurarea muncii (standard time in work measurement), 351-I

Temp (durata) optimist în PERT (optimistic time in PERT), 182-I

Temp (durata) pesimist în PERT (pessimistic time in PERT), 182-I

Toleranțe (allowances)

folosirea (application of), 373-I

în măsurarea muncii (in work measurement), 371-I

pentru întârzieri (for delays), 361-I, 371-I

pentru odihnă și necesități firești (for fatigue and personal time), 371—373-I
Toleranțe pe lot pentru procente de defecte, definiție (lot tolerance per cent defective = LTPD, definition), 143-II
Toleranțe, efect asupra proiectării și costului producției (tolerances, effect on production design and cost), 136-I

UCLA

jocuri de întreprindere (business decision games), 18-I
program executiv (executive program), 699
simulare de formă (simulation of firm), 18-I
Uzură (obsolescence), 102-I

Valoare contabilă (book value), 98-I
Valoarea actuală (present values), 103-I
criterii pentru compararea variantelor economice (as criteria for comparing economic alternatives), 105-I
tabele (tables), 106-I, 107-I
Valori de recuperare, scăderea lor (salvage values, fall in), 102-I
Viață economică (economic life), 102-I

Zgomot (noise), 320-I
controlul protecției (control of), 321-I
efectele asupra performanței (effects on performance), 321-I
nivele în dbeli (db levels of), 322-I
pierdere de auz datorită (hearing loss due to), 321-I, 322-I

IN PREGATIRE

**Brain Twiss (ANGLIA). INOVAREA TEHNOLOGICĂ.
CONDUCEREA CERCETĂRII ȘI DEZVOLTĂRII TEHNOLOGICE**
(Managing Technological Innovation). Seria „Practică”
(Automatică-Informatică-Electronică-Management)

Apărută recent în lb. engleză (1974) constituie o excelentă trecere în revistă asupra principalelor probleme pe care o întreprindere trebuie să le urmărească în scopul realizării unei deosebite eficiențe în aplicarea practică, a inovării tehnologice. Pornind de la organizarea și conducerea cercetării, și ajungând la problemele curente ale dezvoltării tehnologice și realizării ei, lucrarea prezintă interes atât pentru personalul cuprins în activitatea de cercetare cât și pentru cadrele de conducere din ministere, instituții centrale, întreprinderi, uzine.

L. W. Crum (Marea Britanie). **INGINERIA VALORII** (Value Engineering). Seria „Practică” (Automatică-Informatică-Electronică-Management)

Ingineria valorii este la nivelul întreprinderii una dintre cele mai eficiente tehnici de conducere pentru reducerea prețului de cost. Ea deschide un câmp larg inovării tehnologice. Lucrarea clarifică problematica ingineriei valorii, oferind înțelegerea mecanismului acesteia și descifrând factorii de influență care asigură succesul programelor respective.

Conținut : Beneficiu și valoare. Definirea ingineriei valorii. Cauzele costurilor suplimentare. Planificarea atribuțiilor și faza informațională. Faza creativă. Faza de evaluare. Faza de programare. Faza de execuție. Faza de implementare. Tehnicile ingineriei valorii. Organizarea și conducerea ingineriei valorii. Aplicații specifice. Anexe.

ÎN CURS DE APARIȚIE :

MAYNARD, H. B. (S.U.A.)

MANUAL DE INGINERIE INDUSTRIALĂ. Vol. I
(INDUSTRIAL ENGINEERING HANDBOOK)

Seria „Biblioteca de automatică, informatică,
electronică, management“

Tratatul de referință „Industrial engineering handbook“ ed. a II-a, 1971, este lucrare de mare amploare, rezultat al sintetizării cunoștințelor și experienței a peste 100 de specialiști americani din diferite ramuri industriale, ce activează în domeniul ingineriei industriale. Coordonarea acestui colectiv este asigurată de unul dintre cei mai reprezentativi manageri americani, cunoscut și în țara noastră prin ciclul de lucrări „Conducerea activității economice“ al cărui editor șef a fost.

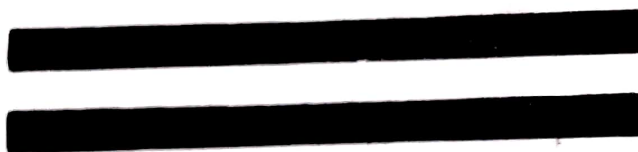
Editura tehnică își propune să grupeze în trei volume toate aspectele semnificative ale acestei tematici deosebit de cuprinzătoare, punând la dispoziția cititorilor un material de factură practică inedită (prin complexitatea și gradul de generalizare a problemelor tratate și prin modul de expunere) asupra celor mai noi tehnici, metode, proceduri în activitatea curentă a personalului tehnico-economic din industrie.

În primul volum se prevede a fi cuprinse primele 5 secțiuni : definirea funcției de inginerie industrială, a metodelor caracteristice, tehnicile de măsurare și normare a tipurilor de activități și procese.

Se adresează tuturor categoriilor de ingineri cum și economiștilor și cadrelor de conducere din economie. Este utilă cercurilor largi de profesori și studenți din institutele politehnice și economice.



Cel de al doilea volum al ediției în limba română prezintă probleme legate de proiectarea sistemelor informaționale, politicile și procedurile de conducere necesare funcționării sistemului de producție, cum ar fi : stocuri, programarea producției, controlul operațiilor, întreținere, controlul calității, controlul și îmbunătățirea costurilor de producție, relații umane.



Lucrarea face parte din seria
PRACTICĂ :

- Automatică
- Informatică
- Electronică
- Management

Vol. I și vol. II – lei 51

